ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU Dr TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE D'OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

DIRECTEUR Dr J. RICHARD

Les Dépôts Marins

PAR

LE Dr LÉON-W. COLLET



OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, PARIS


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Octave DOIN, éditeur, 8, place de l'Odéon, Paris.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE

D'OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

Directeur : Dr **JULES RICHARD**

Directeur du Musée océanographique de Monaco.

L'Océanographie est une branche de la science qui ne s'est individualisée d'une façon bien nette qu'à la suite des premières explorations sous-marines, notamment à la suite de la fameuse expédition du *Challenger*. Le domaine et les limites de l'océanographie ne sont d'ailleurs pas encore établis d'une façon nette et précise. Les uns y comprennent la météorologie, parce que les actions réciproques de l'air et de l'eau l'un sur l'autre sont très importantes, mais il est vrai que certains font au contraire rentrer l'océanographie dans la météorologie ; la climatologie, qui dépend tellement de la mer, rentrerait aussi dans l'océanographie ; on pourrait, à ce compte, y comprendre aussi une bonne partie de l'ethnographie qui dépend à bien des égards de la climatologie, et aller encore plus loin dans cette voie ! Il suffit d'émettre l'hypothèse pour comprendre qu'elle n'est pas soutenable, et il ne suffit pas qu'à l'origine l'Océan ait baigné la terre entière pour admettre que l'océanographie comprend tout. D'autres au contraire ne comprennent dans l'océanographie que les phénomènes mécaniques, physiques et chimiques qui se passent dans l'eau de la mer et vont même jusqu'à reporter à la météorologie les phénomènes que présentent les couches superficielles de l'océan ; d'après eux, les

phénomènes biologiques qui se passent dans la mer ne sont pas de son domaine.

La vérité est que les points de contact de l'océanographie avec les autres sciences sont multiples; il n'y a pas de classification ni de limites tranchées dans la nature où tout se tient. Les classifications que nous établissons ne sont destinées qu'à nous aider et à nous guider dans l'étude des faits; c'est pourquoi nous devons, pour artificielles qu'elles soient, les choisir de nature à remplir le mieux possible le but proposé. Quelles meilleures limites à adopter pour l'océanographie que les limites de la mer elle-même ? Aussi, pour nous, et c'est sur cette définition qu'est établi le programme de cette bibliothèque, « l'océanographie étudie l'histoire naturelle de la mer, si l'on prend cette expression d'histoire naturelle dans son sens le plus large, c'est-à-dire que cette science étudie les phénomènes naturels qui se passent dans le sein des eaux marines tant au point de vue mécanique qu'au point de vue physique, chimique et biologique. L'océanographie, qui, à certains égards, fait partie de la géologie — (phénomènes actuels) — et de la géographie, doit être considérée comme une étude monographique spéciale des eaux marines. Cette étude ne peut se faire qu'avec le concours de sciences diverses : la météorologie, cette science de l'océan aérien, se trouve dans des conditions analogues. L'océanographie, dont le domaine est l'eau de la mer, a des rapports très étroits avec la météorologie dont le domaine est l'air atmosphérique. Ces deux domaines, quoique bien distincts par la nature même de leur élément, ont de telles surfaces de contact et tant de rapports que l'étude de l'une est indispensable pour une connaissance complète de l'autre » (1).

L'océanographie présente évidemment un intérêt de premier ordre pour la physique du globe, mais il faut bien se convaincre que ce qui nous intéresse le plus dans cette étude c'est le point de vue biologique, parce que l'étude de la vie a toujours eu plus d'attrait que la matière inerte et parce que c'est le point de vue biologique qui est aussi le plus important, d'une façon immédiate, dans les questions industrielles

(1) J. Richard, *L'Océanographie*, Paris, 1907.

qui se rapportent à la mer et dans les questions des pêcheries. C'est même sur cette base économique que s'est constitué le conseil permanent international pour l'exploration de la mer.

Pour obtenir des résultats pratiques il faut étudier le sujet suivant les principes de la méthode scientifique : il faut apprendre à connaître le milieu, en mesurer la profondeur, l'étendue, les propriétés physiques, chimiques, les mouvements ; étudier les êtres qui y vivent, les variations de leurs conditions d'existence, etc. Cette connaissance s'obtient au moyen d'engins spéciaux et de méthodes appropriées que les volumes de la présente bibliothèque feront connaître d'une façon détaillée, pour ce qui concerne la partie physique, et que ceux de la bibliothèque d'Océanographie biologique feront connaître pour tout ce qui concerne les êtres vivants.

TABLE DES VOLUMES
ET LISTE DES COLLABORATEURS

*Les volumes publiés sont marqués par un **

1. **L'Océanographie physique**, son histoire, introduction à son étude.
2. **La Profondeur et les limites des mers.**
*3. **Les Dépôts marins**, par le D[r] Léon W. COLLET, Privat-docent à l'Université de Genève.
4 a. **L'Eau de mer**, ses propriétés physiques.
4 b. **L'Eau de mer**, sa composition chimique.
5. **Les Mouvements de la mer**, les marées, la houle, les vagues.
6. **Les Courants marins.**
7. **La Circulation générale des Océans.**

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

du Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

Secrétaire général : H. PIÉRON, Agrégé de l'Université.

BIBLIOTHÈQUE D'OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE

Directeur : Dr J. RICHARD

Directeur du Musée océanographique de Monaco

DÉPÔTS MARINS

LES

DÉPÔTS MARINS

PAR

Le Dr Léon-W. COLLET

PRIVAT-DOCENT A L'UNIVERSITE DE GENÈVE ET ASSISTANT AU LABORATOIRE
DE GÉOLOGIE

**Avec 35 figures dans le texte
et une carte hors texte**

PARIS
OCTAVE DOIN, ÉDITEUR
8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1908

A mon cher Maître

SIR JOHN MURRAY K. C. B.; F. R. S., etc.

Hommage d'estime et de reconnaissance.

LÉON W. COLLET

PRÉFACE

Ce volume, écrit sur la demande de M. le D[r] Jules Richard, directeur du Musée Océanographique de Monaco et directeur de la Bibliothèque d'Océanographie physique de l'Encyclopédie scientifique, est le résumé d'un cours de Privat Docent de Géographie physique fait à la Faculté des sciences de l'Université de Genève.

Nous avons jugé bon de baser notre monographie sur le beau volume de MURRAY et RENARD : *Deep sea Deposits*, de la série des Reports de la célèbre expédition du « Challenger ».

Tout en exposant, d'après Murray et Renard, d'une manière générale, la composition des fonds marins qui recouvrent les sept dixièmes de la surface terrestre, nous tiendrons le lecteur au courant des questions qui ont été spécialement approfondies ces dernières années et nous insisterons, autant que faire se peut, sur l'importance de certaines questions de la sédimentation actuelle au point de vue géologique.

Nous avons revu la carte générale des dépôts ma-

rins de Murray et Renard et celle que nous présentons au lecteur, à la fin de ce volume, est basée sur les résultats des dernières expéditions ainsi que sur des documents encore inédits du Challenger Office.

Les deux années passées au « Challenger Office », à Edimbourg, à étudier des questions de sédimentation, ont été pour nous, jeune géologue alpin, comme une exploration dans la « Terra Incognita ». Notre vénéré maître Sir John Murray, le fondateur de l'Océanographie, a largement contribué à nous faire voir la géologie sous un jour plus grand. Les soirées passées à Challenger Lodge ou à Falkland House, où le maître non seulement exposait ses belles théories à ses élèves, mais encore aimait à en discuter avec eux, seront pour nous un souvenir indélébile.

Sir John Murray nous autorisa à puiser largement dans les documents inédits qu'il possède au Challenger Office ; qu'il reçoive ici nos sincères remerciements et l'expression de nos sentiments dévoués.

Qu'il nous soit permis de remercier en premier lieu nos collègues du « Challenger Office », M. le D[r] G.-W. Lee, M. James Chumley et M. Robert Dykes qui, par leur amabilité, ont grandement facilité notre tâche.

M. le D[r] James Flint du « U. S. National Museum », à Washington, a bien voulu nous autoriser à reproduire quelques planches de son mémoire sur le Pacifique.

M. Stanley Gardiner, de l'Université de Cambridge, nous a tenu au courant de ses dernières découvertes dans les récifs de l'Océan Indien.

Que ces Messieurs reçoivent ici l'expression de notre profonde gratitude.

En terminant nous ne voulons pas oublier M. le D[r] Jules Richard et M. le professeur L. Cayeux, de Paris. Ce dernier ne nous a jamais ménagé ses conseils et ses encouragements durant notre séjour au Challenger Office, alors qu'avec M. le D[r] G. W. Lee nous tâchions de jeter quelque lumière sur la question de la formation des concrétions phosphatées et de la glauconie dans les mers actuelles.

Genève. Laboratoire de géologie de l'Université.
Mars 1907.

Léon W. Collet.

LES DÉPÔTS MARINS

INTRODUCTION

CHAPITRE I

LES PRÉCURSEURS DE MURRAY ET RENARD

Bien qu'aucune étude systématique des sédiments marins actuels n'ait été faite avant la célèbre expédition anglaise du « Challenger », il est intéressant de voir ce que nous connaissions des fonds marins avant l'étude magistrale de Murray (1) et Renard.

Les premières données sur les organismes des grandes profondeurs remontent à une époque assez reculée.

En 1818 déjà, John Ross, au retour de son expédition arctique, signala l'*Asterias caput-medusae* par 800 brasses de profondeur, en outre un sondage ramena une boue verdâtre contenant des vers.

Ehrenberg, en 1836, attira l'attention des naturalistes sur le fait que des organismes microscopiques

(1) Aujourd'hui Sir John Murray K. C. B.

qu'on rencontre aujourd'hui sur le fond des mers, jouent un grand rôle dans la constitution de l'écorce terrestre.

L'expédition antarctique de J. Clark Ross, durant 1839-1843, signala une grande abondance et une grande variété de vie animale par 270 brasses. Hooker, qui était naturaliste à bord, signala des diatomées entre 50° et 70° de lat. S.

En 1844 apparaît le célèbre volume d'Edward Forbes : « On the light thrown on Geology by submarine researches », dans lequel il montre l'importance des études océanographiques au point de vue géologique. Ses études firent faire un grand pas en avant à la nouvelle science : l'océanographie.

Mantel écrivait en 1845 : Il est manifeste que la craie, quand elle fut déposée au fond de l'océan, se trouvait à l'état d'une boue fine ressemblant, en apparence comme dans sa composition chimique et organique, à la craie qui est maintenant en formation le long des îles Bermudes.

La même année W. C. Willamson signala des foraminifères, diatomées, spicules d'éponges dans les boues de la Méditerranée.

C'est au fond à Bailey, en 1851, que revient l'honneur d'avoir jeté le premier rayon de lumière au milieu de l'inconnu qu'étaient alors les fonds marins. Il fut le vrai précurseur de Murray et Renard, en étudiant les boues collectées par le U. S. Coast Survey. Il montra entre autres le rôle important que jouent les foraminifères dans les dépôts au large de New Jersey. Il remarqua que, dans tous les échantillons, les minéraux diminuent lorsque la profondeur augmente

et qu'ils sont remplacés par des restes organiques. Presque à cette même époque, cet auteur publia son célèbre travail sur l'origine des sables verts et leur formation sur le fond des mers actuelles. Il étudia également les sédiments recueillis dans l'Atlantique nord par le steamer « Arctic » et arriva à la conclusion que les fragments de minéraux étaient arrondis dans les dépôts de faibles profondeurs et qu'ils étaient anguleux dans ceux des profondeurs plus grandes, prouvant ainsi qu'il n'y avait aucun mouvement de l'eau aux grandes profondeurs. Il signala de même la présence de cendres volcaniques sur le fond de la mer et attira l'attention sur le fait que les sédiments calcaires actuels renferment une faible quantité de particules minérales.

Pourtalès, en 1853, annonça qu'il avait recueilli, par 150 brasses, un dépôt formé de parties égales de globigérines et de glauconie.

La campagne du « Cyclops », qui eut lieu en 1857 dans l'Atlantique nord, confirma les données précises de Bailey. Huxley, qui étudia les sédiments recueillis par cette expédition, reconnut qu'entre 1700 et 2400 brasses, les sédiments étaient d'une remarquable uniformité et qu'ils renfermaient 85 °/₀ de globigérines, 5 °/₀ d'autres foraminifères et 10 °/₀ de diatomées, radiolaires, fragments de minéraux et coccolithes. Il remarqua une ressemblance entre la craie et la vase à globigérines, sans toutefois se prononcer en aucune façon et se contenta d'attirer l'attention des naturalistes sur le haut intérêt scientifique que renferme la vase à globigérines, en raison de la profondeur à laquelle elle se forme.

L'exploration méthodique de l'Atlantique nord, faite par le « Bull-Dog », amena WALLICH à rapprocher la craie des dépôts à foraminifères de l'océan.

En 1872, POURTALÈS publia les résultats de son étude sur les sédiments collectés par le U. S. Coast Survey en 1867. Il remarqua deux sortes de dépôts : siliceux et calcaires; ces derniers divisés en dépôts coralliens et de foraminifères. Il donna également la description de la glauconie.

LOUIS AGASSIZ, discutant les résultats de Pourtalès, conclut qu'aucune formation ancienne ne s'est effectuée en eau profonde.

Dans les rapports de CARPENTER, WYVILLE THOMSON, GWYN JEFFREYS, sur les expéditions du « Lightning », du « Porcupine » et du « Shearwater », nous trouvons plusieurs descriptions de sédiments collectés avec le tube sondeur. Une comparaison fut même faite par Wyville Thomson entre la craie et la vase de l'Atlantique. C'est à cette occasion que ce savant écrivit cette déclaration mémorable au sujet de la vase à globigérines : « This mud being not merely a Chalk formation but a continuation of the Chalk formation; so that we may be said to be still living in the cretaceous Epoch. » (Cette vase est non seulement une formation identique à la craie, mais encore la continuation du dépôt de la craie; de sorte que nous pouvons dire que nous vivons encore à l'époque crétacée). La fameuse phrase « nous vivons encore à l'époque crétacée » eut un grand retentissement. Les célèbres géologues anglais Murchison et Lyell lui refusèrent non seulement leur approbation, mais ce dernier alla même jusqu'à qualifier cette assertion

« d'erreur populaire ». Avec Thomson et Carpenter, nous sommes dans ce que M. Cayeux a appelé : « la troisième phase » dans la grande joute scientifique de la comparaison entre la vase à globigérines des mers actuelles et la craie, sujet sur lequel nous reviendrons en temps et lieu.

En 1871, Delesse fit paraître son bel ouvrage *Lithologie du fond des mers* », avec une carte, dans lequel il s'occupe plus spécialement des sédiments côtiers.

Les croisières du « Lightning » et du « Porcupine », bien que prouvant que la vie existait aux plus grandes profondeurs, montrèrent aux savants anglais que l'océan n'en était pas moins inexploré au point de vue scientifique. Ce fut William B. Carpenter qui, en juin 1871, proposa à la « Royal Society » de Londres d'étudier la question d'un voyage de circumnavigation et de demander l'appui du Gouvernement. En avril 1872, le Gouvernement anglais acceptait de payer les frais de l'expédition projetée et mettait à la disposition de la « Royal Society », le « Challenger », corvette à vapeur de 2.306 tonnes de déplacement, pour étudier les conditions physiques et biologiques de la mer profonde dans les différents bassins de l'Océan. Le « Challenger » quitta l'Angleterre en 1872 et, pendant la croisière, qui dura presque quatre ans, des notices préliminaires sur les dépôts marins furent publiées par Thomson, Murray et Buchanan. De retour au pays, les collections furent étudiées avec un grand soin, comparées avec celles qui furent faites précédemment ou subséquemment par les navires du Gouvernement anglais ou par les bateaux des compagnies

télégraphiques ou encore par les expéditions d'autres nations. Tout ce matériel passa entre les mains de Murray et de Renard qui publièrent en 1891, après vingt ans de travail, leur magnifique volume : « *Deep Sea Deposits* » de la série des « Reports » du Challenger.

M. le professeur Thoulet a dit de cette belle œuvre que c'est le catéchisme de ceux qui veulent aborder les problèmes de la sédimentation actuelle.

CHAPITRE II

DU RÔLE DE LA TEMPÉRATURE DANS LA DISTRIBUTION DES ORGANISMES ET DES DÉPÔTS MARINS

Avant d'entrer dans l'étude des dépôts marins, il convient de prendre en considération le rôle prépondérant que joue la température dans la question de la distribution des organismes et des dépôts marins.

§ 1. — *Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde.*

D'après Sir John Murray [1], à une profondeur de 200 mètres, toute variation saisonale disparaît dans les mers largement ouvertes. Au-delà de cette profondeur, nous trouvons une région à température presque constante durant toute l'année. Les 92 °/₀ du fond des mers sont recouverts d'eau d'une tempé-

1. Murray, 22.

rature inférieure à 4°, tandis que 16 % seulement de l'eau de surface ont une température moyenne de 4°. Dans certains cas, comme nous le verrons dans la suite, des changements dans la direction des courants marins peuvent amener des variations de température à des profondeurs bien plus grandes que 200 mètres, comme l'a montré M. W. Libbey, dans son étude des relations entre le Gulf Stream et le courant du Labrador. Sur le fond de la mer, les isothermes épousent la configuration des continents, tandis que les isothermes de l'eau de surface ont, en général, une direction parallèle à l'équateur et aux pôles, exception faite des déviations dues aux courants.

Les zoologistes entendent sous le nom de *Zone abyssale* les grandes profondeurs océaniques au point de vue organique; on y distingue deux sous-zones : de 500 à 1800 mètres et la seconde comprise entre 1800 mètres et le fond. Les études faites à bord du *Talisman* montrèrent qu'il n'y a aucune relation entre la zone organique de surface, limitée à une profondeur de 200 à 300 mètres et celle des abîmes. Les deux faunes n'ont aucun rapport et si leurs restes venaient à être rencontrés à l'état fossile, on pourrait croire qu'ils proviennent de deux époques différentes ou qu'ils représentent la population de deux mers sans communication[1]. Un fait intéressant pour la géologie, dit M. de Lapparent, et sur lequel il convient d'insister, est la frappante uniformité de la faune profonde en quelque lieu qu'on l'observe. Le polypier *Fungia symmetrica* habite aussi bien à 60 mètres qu'à

1. DE LAPPARENT, p. 128.

5400 mètres, il se trouve à la fois dans l'Atlantique sud et dans l'Atlantique nord, on le rencontre également à la limite des glaces antarctiques ainsi que dans tout le Pacifique. Il en est de même du *Rhizocrinus loffotensis*, crinoïde connu près des côtes de Norvège comme dans le voisinage des Açores. Dans sa célèbre campagne, le « Challenger » dragua les mêmes formes profondes, dans tout le Pacifique, alors que, suivant les latitudes, les organismes de surface différaient sensiblement. La cause de cette uniformité réside tout entière dans l'égalité de température des grandes profondeurs océaniques. Mais cette température, qui ne varie qu'entre les limites de + 4° à + 1°, entraîne une autre conséquence; c'est le caractère polaire des faunes profondes. Les échinodermes qu'on rencontre près de la surface, sur les côtes de Norvège et du Groenland, se retrouvent entre l'Ecosse et les îles Fœroër, par 100 mètres de profondeur, c'est-à-dire dans une zone où la température de l'eau varie de + 1° à 0°. Sur les côtes de France et de Portugal, les échinodermes scandinaves se rencontrent de 1600 à 4000 mètres. Cela ne signifie pas absolument que les régions arctiques doivent être envisagées comme le centre de distribution de ces espèces, cela veut simplement dire que leur apparition, au voisinage de la surface, a lieu surtout dans les contrées polaires, parce que c'est là que la zone superficielle réalise les conditions de température qui, partout ailleurs, sont spéciales aux grandes profondeurs. Aussi est-il exact de dire que, dans les mers largement ouvertes, *la distribution de la vie est déterminée par la température*[1].

1. De Lapparent, p. 130.

Un des résultats les plus importants, au point de vue géologique, de l'exploration des profondeurs océaniques, est la constatation du caractère archaïque des faunes de mer profonde. Quand on compare la population animale des grands fonds avec celle de la surface ou des rivages, il semble, dit Milne-Edwards[1], qu'on ait sous les yeux des faunes distinctes n'appartenant ni au même temps, ni au même climat. Les animaux littoraux se rapportent à des types plus élevés en organisation ; ceux des profondeurs ont un caractère plus ancien ; quelques-uns d'entre eux présentent avec les fossiles de l'époque secondaire d'incontestables affinités, d'autres rappellent l'état larvaire de certaines espèces actuelles.

Sur 42 genres recueillis par le « Challenger », 20 sont connus à l'état fossile. Parmi ces derniers, il en est 8 des formations secondaires, savoir 2 du jurassique et 6 du crétacique. Il semble que les grandes profondeurs océaniques soient comme le refuge à la faveur duquel des genres d'ancienne date ont réussi à prolonger leur existence. Il n'y a pas lieu de s'en étonner, dit M. De Lapparent, « car plus on remonte dans le passé et moins l'organisation des types est élevée ; or, le caractère auquel se mesure le degré de perfection d'un type organique est, on le sait, la différenciation de plus en plus grande des fonctions, et cette différenciation est toujours en rapport avec la variabilité des conditions physiques du milieu. Il n'est pas douteux que les circonstances extérieures de lumière, de chaleur, de relief, etc., ne soient aujourd'hui, en

1. In De Lapparent, p. 131.

chaque lieu du globe, plus variables qu'elles n'ont été à d'autres époques ; en même temps il y a de nos jours, selon toute vraisemblance, plus de différence qu'il n'y en a jamais eu entre les conditions des pôles et celles de la zone équatoriale. C'est pourquoi, tandis que les organismes de surface devaient refléter fidèlement ces variations dont ils subissaient l'influence, c'est dans la profondeur, au sein d'un milieu invariable, que les êtres moins différenciés ont dû aller se réfugier. Ceux-là, sans doute, auront le mieux résisté, dont l'organisation pouvait le moins être affectée par la basse température qui règne et qui probablement régnera de plus en plus dans ces régions[1] ».

Certains auteurs ont exagéré la proportion et la signification des types anciens de la faune abyssale. Ce caractère archaïque s'accentue de 400 à 2000 mètres, dans l'Atlantique, comme l'ont montré les recherches faites à bord du « Talisman », puis, à partir de cette limite, ce caractère s'atténue pour laisser prédominer, dans les abîmes, une faune à adaptation spéciale. Ce fait n'est pas en contradiction avec le précédent, car il est probable que nous ne connaissons pas à l'état fossile, les faunes profondes des temps géologiques, *les terrains que nous pouvons explorer ayant appartenu à des zones littorales ou sublittorales*, progressivement adjointes par émersion à d'anciens noyaux de terre ferme, tandis que le fond des océans restait couvert par les eaux.

1. De Lapparent, p. 132.

§ 2. — *Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans.*

Si l'on compare la récolte de deux pêches au filet à plankton, faites dans les mêmes conditions, l'une dans les eaux froides antarctiques et l'autre dans les eaux chaudes tropicales, on voit qu'on rencontre un plus grand nombre d'espèces dans les eaux tropicales que dans les eaux antarctiques[1]. Il n'y a là rien d'étonnant, car on sait que le métabolisme des organismes à sang froid augmente avec la température de l'eau et est donc beaucoup plus rapide dans le cercle équatorial que dans le cercle arctique et antarctique.

Les réactions chimiques étant plus rapides dans les eaux chaudes, nous rencontrons une grande quantité de sels ammoniacaux dans les eaux tropicales, tandis que l'albumine prédomine dans les eaux polaires.

Les organismes qui sécrètent du carbonate de chaux sont beaucoup plus abondants dans les eaux chaudes que dans les eaux froides, et conséquemment leurs coquilles sont plus abondantes dans les sédiments des régions équatoriales que dans celles des régions polaires. Donc par un procédé organique, le sulfate de chaux en solution dans l'eau de mer, provenant très probablement de l'attaque des continents, est aujourd'hui accumulé dans les régions tropicales, sous forme de carbonate de chaux. Sous les tropiques, on rencontre environ 20 espèces de foraminifères pélagiques qui sécrètent d'épaisses coquilles calcaires ; ces espèces disparaissent lorsqu'on

1. Murray, 19.

chemine vers le nord et dans les eaux polaires nous ne rencontrons plus que deux espèces naines de globigérines. Il en est de même pour les hétéropodes, les ptéropodes et les gastéropodes qui abondent dans les eaux chaudes et qui ne sont représentés dans les eaux froides que par de rares espèces naines à coquille très mince. Les rhabdosphères et les coccorsphères, algues calcaires, sont remplacées, dans les régions polaires, par des algues sécrétant de la silice au lieu de carbonate de chaux. La sécrétion de carbonate de chaux dans les eaux tropicales est due plus à des réactions chimiques qu'à des actions physiologiques. En effet si, dans le laboratoire, on ajoute du carbonate d'ammonium à de l'eau de mer, à la température de l'eau sous les tropiques, le sulfate de chaux est transformé, par double décomposition, en carbonate de chaux et en sulfate d'ammonium. A la température basse des eaux polaires, cette double décomposition ne se fait que très lentement et le carbonate précipité prend alors la forme de calcite, tandis que, dans le premier cas où la précipitation est rapide, nous avons formation d'aragonite.

Aux courants chauds de surface correspond une faune riche dans la profondeur, comme le montrent les études de M. Alexander Agassiz[1], faites à bord du « Blake », dans le détroit de Floride et dans le golfe du Mexique. En effet, entre 500 et 2000 mètres, nous trouvons dans ces parages un nombre incroyable d'échinodermes, polypiers, alcyonaires, annélides et crustacés, dont les restes, en s'accumulant, recou-

1. Agassiz, 1.

vrent les plateaux sous-marins d'une couche de calcaire qui s'étend sur plusieurs kilomètres carrés. M. Alexander AGASSIZ n'hésite pas à attribuer cette abondance de vie aux matières organiques charriées par les courants tropicaux et qui, venant s'ajouter aux matières organiques que contiennent toujours les eaux des côtes, assurent aux organismes marins une nourriture abondante. Des faits semblables furent signalés, par l'expédition du « Challenger », sur la côte orientale du Japon et ressortirent également d'une étude de matériaux[1] provenant de dragages effectués, sur la côte orientale de l'Afrique du sud, par les bateaux du Gouvernement du Cap. En général les côtes occidentales des continents, le long desquelles les courants chauds font défaut, la richesse biologique est bien moins grande que sur les côtes orientales. Ainsi l'abondance de nourriture en relation avec la température, apparaît comme un facteur de première importance dans l'inégale répartition des êtres marins. Sir Archibald Geikie[2], généralisant ce fait, pense que certains calcaires des anciennes formations géologiques, remarquables par la profusion de débris organiques dont ils sont constitués, marqueraient la trace de courants chauds qui, à l'époque du dépôt de ces calcaires, sillonnaient la masse océanique.

L'influence de la température se fait également sentir dans le dépôt de la vase à globigérines que nous trouvons s'étendre beaucoup plus au nord dans l'At-

1. Etude faite par M. PEARCY, au « Challenger Office », et dont les résultats n'ont pas encore été publiés.
2. In DE LAPPARENT, p. 127.

lantique que dans le Pacifique et cela grâce aux eaux chaudes du Gulf Stream. POURTALÈS, étudiant ce dernier courant, remarqua qu'un sable siliceux correspond, sur le fond, à la trace du courant froid du Labrador, tandis qu'un dépôt calcaire marque exactement en profondeur les limites du Gulf Stream.

§ 3. — *Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins.*

Le Dr Regnard[1], grâce à de nombreuses expériences, est arrivé à montrer que les poissons ne supportaient pas une variation de température de 5°, surtout dans les températures hautes, entre 20 et 25 degrés, l'animal meurt immédiatement. Les changements de température de l'eau de surface influenceront aussi les autres organismes marins, qui par leurs dépouilles contribuent à former la majeure partie des dépôts marins. Fort de l'expérience acquise à bord du « Challenger » et convaincu de l'importance d'une telle entreprise, Sir John MURRAY[2] construisit une carte des variations annuelles de température des eaux de surface pour chaque 2° carré. L'écart annuel maximum, qui ne dépasse pas 29°, se trouve le long des bancs de Terre-Neuve dans l'océan Atlantique et sur les côtes du Japon dans l'océan Pacifique, à des endroits où la surface est occupée pendant une saison par des eaux froides venant des mers polaires et à une autre par des eaux chaudes venant des mers tropicales. La variation extrême de température trouvée

1. In THOULET, **5**, p. 212.
2. MURRAY, **21**.

dans l'océan est de 39°, c'est-à-dire du point de congélation de l'eau de mer dans les régions polaires à 35°, température rencontrée à l'entrée du golfe Persique. Dans les régions équatoriales où il n'y a presque pas de variations dans la température de l'eau de surface, l'eau chaude reste à la surface. Dans les régions tempérées, le refroidissement des couches superficielles, durant la nuit et durant l'hiver, est cause que l'eau de surface descend, devenant plus lourde.

Au large, à une profondeur de 200 mètres, on peut dire que la variation annuelle est nulle, tandis qu'elle est encore de 1°,11 à 91 mètres. Il n'en est pas de même sur les côtes où de grandes variations de température peuvent être causées par le déplacement de grandes masses d'eau, appartenant à des courants marins de températures différentes. Des faits semblables se rencontrent partout où un courant froid, venant des pôles, rencontre un courant chaud, venant des régions équatoriales ou lorsqu'un courant chaud longe un courant froid, comme dans le cas du Gulf Stream et du courant du Labrador, sur la côte atlantique des Etats-Unis.

Au lieu de rencontre d'un courant froid avec un courant chaud, il se produit une grande destruction d'organismes en raison de la brusque variation de température ; les animaux vivant dans le courant chaud sont tués à la rencontre des eaux froides et vice versa. Le « Challenger » recueillit ainsi, dans ses filets à plankton, des organismes morts, sur la côte atlantique de l'Amérique du Nord, sur l'Agulhas Bank, ainsi que dans le Pacifique nord. Cette destruction d'organismes n'est pas limitée aux infini-

ment petits, mais affecte également les animaux qui font partie du *Nekton*, comme les poissons.

Les faits suivants témoignent de l'importance de ces variations de température :

En 1880 et 1881, le professeur Verrill[1] recueillit, sur le bord continental du Gulf Stream, plusieurs espèces d'invertébrés caractéristiques de régions plus méridionales. En 1882, ces mêmes espèces étaient très rares et même absentes des localités où elles étaient apparues durant les deux années précédentes. Le fait de l'existence à cette époque de violents ouragans venant du nord, ainsi que la présence de grandes masses de glaces côtières dans les régions septentrionales, laissèrent à supposer que la température du bord continental du Gulf Stream avait été fortement abaissée; cette variation de température causant la destruction d'une foule d'organismes.

En 1884, le commandant Tanner, de l'« Albatross » trouva dans la même localité de nombreux octopodes morts, flottant à la surface.

Ce fut au printemps 1882, qu'il y eut, dans la même localité, une grande destruction de « tyle fish » (*Lopholatilus chamaeleonticeps*). Durant les mois de mars et avril, les vaisseaux arrivant à Philadelphie, Boston et New-York, traversèrent, sur une longueur de 100 kilomètres, une région couverte de ces poissons morts. Comme ces animaux ne renfermaient aucun symptôme de maladie ou de parasites, on se perdit en conjectures sur la cause de leur mort, on fit même

1. In MURRAY, **21**, p. 130.

intervenir l'action de volcans sous-marins, de gaz, etc., pour expliquer cette destruction.

En 1892, le professeur Libbey[1] remarqua, en étudiant les relations du courant du Labrador et du Gulf Stream, une dérivation d'eau chaude, du côté de la pente continentale et à bord du « Grampus », retrouva les « tyle fish » à l'endroit où ils étaient apparus en 1880 et 1881, à une profondeur variant de 110 à 238 mètres, dans une eau d'une température de 10° à 14°,5. Ces poissons appartiennent à une espèce de mer profonde, inconnue sur les côtes où ils apparurent avec une dérivation d'eau chaude du Gulf Stream et d'où ils disparurent à partir de 1882, grâce à une augmentation subite du courant froid du Labrador, comme le montra M. le professeur Libbey.

On estima, à la suite de la destruction des « tyle fish », que le fond de la mer, dans la région située entre Cape May et Nantucket, fut recouvert d'une couche de poissons morts et d'autres organismes, d'une épaisseur de 1m.80.

Ces effets de variations de température sont facilement reconnaissables sur le fond. En effet le « Challenger »[2] dragua des *concrétions phosphatées* partout où à la surface nous rencontrons de ces grands écarts de température, comme sur la côte orientale de l'Amérique du nord, sur l'Agulhas Bank, sur les côtes orientales d'Australie et du Japon. Le « Blake[3] » et l'« Albatross » draguèrent également de grosses concrétions phosphatées dans le détroit de Floride et

1. LIBBEY.
2. MURRAY, **21**, p. 130 et 131.
3. AGASSIZ, **1**, vol. I, p. 275-276.

dans la région où les « tyle fish » furent détruits. Certaines de ces concrétions atteignent jusqu'à 23 cm. de diamètre et sont dues, comme nous le verrons dans un chapitre spécial, à des réactions chimiques se passant entre les différents produits de décomposition des animaux tués par les variations de température.

La formation d'une *vase à globigérines* très pure dans les régions, loin du continent, où des courants se rencontrent est une conséquence de plus des variations de température. L'accumulation des sédiments est beaucoup plus rapide dans les régions sujettes à des variations, que dans celles où la température de l'eau est constante.

Les variations de température ont une grande influence sur la distribution des formations coralliennes. En effet, partout où, même dans les régions tropicales et subtropicales, la variation de température dépasse 6 degrés, les coraux constructeurs ne peuvent pas vivre. Ce phénomène est particulièrement visible sur les côtes occidentales de l'Afrique, de l'Amérique du sud où l'on ne rencontre pas de formations coralliennes, tandis qu'à latitude égale les polypes construisent sur les côtes orientales de ces continents. Ces variations sont une conséquence directe de la circulation océanique, les côtes occidentales d'Afrique et de l'Amérique du sud étant baignées par des eaux d'une température annuelle très variable, grâce aux fluctuations des courants froids venant des régions antarctiques.

CHAPITRE III

DIVISIONS DU VOLUME

Ire PARTIE

Les différents fonds marins

A. — **Classification — Récolte — Étude.**
B. — **Les dépôts littoraux.**
C. — **Les dépôts terrigènes.**
D. — **Les dépôts pélagiques.**

IIe PARTIE

Formations d'origine chimique dans les dépôts marins.

IIIe PARTIE

Formations d'origine volcanique et cosmique dans les dépôts marins.

IVe PARTIE

Formations coralligènes.

Ve PARTIE

Quelques formations intéressantes des sédiments anciens.

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. — CLASSIFICATION — RÉCOLTE — ÉTUDE

CHAPITRE I

CLASSIFICATION DE MURRAY ET RENARD

A la suite de la célèbre expédition anglaise du « Challenger », Murray et Renard publièrent, en 1891, leur magnifique volume *Deep Sea Deposits*, qui est en quelque sorte la base de la lithologie sous-marine.

Dans cet ouvrage, ces savants donnent une classification des dépôts marins, basée sur leurs positions géographique et bathymétrique.

Depuis lors, cette classification a été adoptée en général par les savants des différentes expéditions récentes, telles que celles de la « Valdivia », de la « Scotia » et du « Nero ». De plus tous les sédiments qui chaque année sont recueillis par les bateaux du gouvernement anglais sont étudiés de la même manière.

Comme toutes les classifications, celle de Murray et Renard fut plus ou moins battue en brèche et cela surtout par un éminent océanographe français, M. le professeur Thoulet, de l'Université de Nancy. Bien que cette classification ne soit pas parfaite, comme nous le reconnaissons nous-mêmes, elle convient néanmoins très bien à des études générales. Lorsqu'on dressera des cartes lithologiques détaillées du fond des mers, on pourra alors compléter la classification des savants du « Challenger » par celle de M. le professeur Thoulet.

La classification de Murray et Renard est la suivante :

Dépôts d'eau profonde.	Argile rouge.	Dépôts pélagiques, formés loin des terres.
	Vases à radiolaires.	
	Vases à diatomées.	
	Vases à globigérines.	
	Vases à ptéropodes.	
	Boues bleues.	Dépôts terrigènes, formés le long des masses continentales.
	Boues rouges.	
	Boues et sables verts.	
	Boues et sables volcaniques.	
	Boues et sables coralliens.	
Dépôts d'eau peu profonde	Sables, graviers, boues, etc.	
Dépôts littoraux.	Sables, graviers, boues, etc.	

Le présent ouvrage étant destiné à donner une idée générale des dépôts marins, nous avons adopté cette classification avec quelques légères modifications. Nous avons divisé les fonds marins en : *I. Dépôts littoraux. II. Dépôts terrigènes. III. Dépôts pélagiques.*

I. — Dépôts littoraux

Galets, graviers, sables, boues.

A. Zone littorale ou intercotidale.

Région subterrestre.

Région littorale.

Région sublittorale.

B. Zone des laminaires, du niveau de la basse mer à 27 mètres.

C. Zone des corallines, de 27 à 92 mètres.

D. Zone des coraux de mer profonde, de 92 à 103 mètres.

II. — Dépôts terrigènes

Boues bleues (entre 200 et 2600 mètres, dans les mers largement ouvertes, dans les estuaires et les ports elles se trouvent déjà à 2 mètres de profondeur), fragments de minéraux de 0,5 mm. de diamètre.

Boues rouges (du Hoang-Ho, du Congo et de l'Amazone).

Boues et sables verts (entre 200 et 1800 mètres).

Boues et sables volcaniques (entre 0 et 5250 mètres).

Boues et sables coralliens (entre 0 et 4570 mètres aux Bermudes ; 0 et 1140 mètres dans le Pacifique), fragments minéraux de 1 à 2 millimètres de diamètre.

III. Dépôts pélagiques ou de mer profonde

Argile rouge des abysses, fragments minéraux de 0,05 mm. de diamètre.

Vases à globigérines (de 450 à 4500 mètres), fragments minéraux de 0,08 mm. de diamètre.

Vases à ptéropodes (jusqu'à 3000 mètres).

Vases à diatomées (entre 2300 et 3600 mètres).

Vases à radiolaires (entre 4300 et 8200 mètres) fragments minéraux de 0,07 de diamètre.

CHAPITRE II

CLASSIFICATION DE THOULET

Le savant professeur de l'Université de Nancy, M. Thoulet, base la classification[1] des fonds marins sur un caractère qui ne peut donner prise à aucune

1. Thoulet, 5, p. 116 et suiv.

discussion, parce qu'il est mathématique : la dimension des grains minéraux, quelle que soit leur origine et la proportion relative des grains de telle ou telle dimension.

Il sépare un échantillon en différentes catégories au moyen de tamis calibrés dont certaines industries, comme la minoterie, font usage. Un tamis n° 3, par exemple, aura 3 mailles sur 27 millimètres de longueur, un tamis n° 200, le plus fin de tous, aura 200 mailles.

Un fond est de *roche*, lorsque le plomb de sonde ne rapporte rien.

On appelle *galets* ou *pierres* les fragments anguleux ou arrondis d'un poids supérieur à 3 grammes.

Les *graviers* seront gros, moyens ou fins, selon qu'ils seront arrêtés par les tamis 3, 6 et 10.

Les *sables* seront gros, moyens, fins et très fins, s'ils sont respectivement arrêtés par les tamis 30, 60, 100 et 200.

Tout ce qui a franchi le tamis 200 porte le nom de *vases* et comprend des minéraux fins-fins.

On considérera un échantillon comme *sable* tant qu'il ne contiendra pas plus de 5 °/₀ de vase. Si celle-ci augmente, pourvu qu'elle n'atteigne pas 25 °/₀, on a un *sable vaseux*. Entre 25 et 90 °/₀ de vase nous aurons une *vase sableuse*, enfin la *vase* proprement dite contiendra moins de 10 °/₀ de grains ou plus de 90 °/₀ de vase.

Un échantillon, quel qu'il soit, sera faiblement calcaire, très calcaire ou extrêmement calcaire s'il renferme, au plus 5 °/₀ ou de 5 à 50 °/₀, de 50 à 75 °/₀ et enfin plus de 75 °/₀ de carbonate de chaux.

CHAPITRE III

LA RÉCOLTE ET L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS MARINS

§ 1. — *Les Sondeurs*

On a imaginé un nombre considérable d'instruments pour la récolte des échantillons de vases qui peuvent tous se ramener à l'appareil inventé par Buchanan, un des naturalistes de l'expédition du « Challenger » et qui porte le nom de « tube sondeur Buchanan ».

Cet appareil se divise en deux parties : le tube emporte-pièce et la bouteille à eau. Le tube emporte-pièce, qui contient le boudin de vase, mesure ordinairement 50 centimètres de longueur et 25 millimètres de diamètre interne ; on peut augmenter la longueur jusqu'à 60 et même 80 centimètres, comme l'a fait S. A. S. le prince Albert de Monaco[1]. La bouteille à eau, qui est vissée au-dessus du tube emporte-pièce, mesure 50 centimètres de longueur et 52 millimètres de diamètre interne ; sa contenance est d'environ 1 litre. Elle est munie d'une valve à ses deux extrémités. L'appareil complet dont on se sert ordinairement à bord de la « Princesse Alice » mesure $1^m,37$ c. ; il est chargé au moyen de trois lests, de 20 à 25 k. chacun, munis d'une ouverture centrale permettant d'y faire passer la bouteille à eau et de faire arriver le tube sondeur verticalement sur le fond. L'emporte-pièce pénètre alors dans les vases molles dont il ex-

1. MONACO.

trait un boudin où la stratification des couches est conservée.

Lorsque le boudin a été extrait du tube au moyen d'un mandrin de bois, M. Thoulet procède comme suit : il trace, au couteau, un trait suivant une des génératrices et plusieurs têtes de flèches dans la direction du tube pénétrant dans le sol, puis laisse sécher l'échantillon, l'enveloppe dans du papier non collé et dans du calicot d'où on a fait disparaître toute trace d'apprêt. On inscrit au crayon le numéro du sondage, la date et la profondeur, puis chaque rouleau est introduit dans un gros tube de

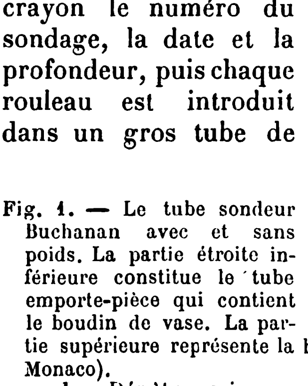


Fig. 1. — Le tube sondeur Buchanan avec et sans poids. La partie étroite inférieure constitue le tube emporte-pièce qui contient le boudin de vase. La partie supérieure représente la bouteille à eau (Cliché du Musée de Monaco).

verre où l'on répète l'inscription sur une étiquette.

Le tube sondeur rapporte seulement des vases plastiques. Pour obtenir des échantillons de sables, de graviers, de petits cailloux, on se sert du « sondeur à drague Léger[1] ».

Cet appareil agit au moyen de deux pelles creuses réunies par une articulation et saisissant les matériaux meubles du fond, par le rapprochement de leurs faces que leur propre poids réunit dès qu'elles quittent le sol.

On peut se procurer également des échantillons de fonds, au moyen du « chalut ». Ce filet, en effet, ramène, avec d'énormes quantités de vase, des pierres, des nodules calcaires, phosphatés ou manganésiens qu'aucun autre procédé n'aurait réussi à récolter.

§ 2. — *Etude des fonds marins.*

L'étude des fonds marins, pour être rationnelle, doit se faire au triple point de vue biologique, chimique et minéralogique. En étudiant de cette manière un même échantillon à tous les points de vue on arrivera souvent à trouver des relations entre les divers constituants, qui autrement n'auraient jamais été soupçonnées.

La méthode du « Challenger » ou de Murray et Renard est basée sur des séparations mécaniques et chimiques qui permettent d'isoler plus ou moins bien les différents composants pour les étudier ensuite séparément. Si cette méthode n'est souvent pas très quantitative, elle n'en donne pas moins des résultats

1. Léger.

précieux, qui font qu'on ne l'abandonne pas. Elle est actuellement appliquée par les Anglais, les Américains et les Allemands.

On commence généralement l'analyse d'un dépôt marin par l'étude microscopique des restes d'organismes calcaires, que l'on sépare des matières minérales, par décantations successives sur une première portion de l'échantillon. On pourra de cette façon déterminer très exactement, non seulement les genres et les espèces, mais encore la quantité relative de ces organismes.

Sur une seconde partie de l'échantillon, nous doserons quantitativement le *carbonate de chaux*.

Dans une troisième partie, après élimination du carbonate de chaux par l'acide chlorhydrique ou de préférence par l'acide acétique qui attaque moins l'argile, on obtient par décantations successives les différentes parties du *résidu*.

En opérant de cette façon, un échantillon se trouve donc divisé en deux parties : le *carbonate de chaux* et le *résidu*.

Dans leurs descriptions, Murray et Renard indiquent, sous le titre de *carbonate de chaux* : 1° la teneur exacte déterminée quantitativement ; 2° les caractères généraux des organismes calcaires, en les subdivisant en trois catégories : les foraminifères planktoniques, les foraminifères benthiques et enfin les autres organismes calcaires. La teneur de chacune de ces catégories est estimée approximativement par rapport au total général.

Le *résidu*, dont la teneur exacte est obtenue par différence, se compose également de trois parties : les

organismes siliceux, les minéraux et les parties fines. Dans la première décantation nous trouvons les parties les plus fines, la seconde procure généralement les organismes siliceux, tandis que les minéraux qui sont plus lourds restent et forment la troisième partie.

Chaque partie, aussi bien dans le « carbonate de chaux » que dans le « résidu », est étudiée en détail. Cette étude détaillée des minéraux est particulièrement délicate étant donnée la très petite dimension des grains dans la plupart des cas et demande une grande expérience et une technique toute spéciale, différente de celle en usage pour la détermination des minéraux en coupes minces.

On étudie de cette façon la partie supérieure et la partie inférieure du boudin procuré par le tube sondeur. En cas de grande différence entre les deux parties, comme dans certains échantillons du « Gauss[1] », un dosage de carbonate de la partie intermédiaire s'impose.

A moins que l'on ait un but spécial à mettre en lumière, on ne fait pas ordinairement d'analyse quantitative complète d'un dépôt marin, en raison du temps que nécessite cette opération.

Le tableau suivant donne une idée de la manière dont on fait, d'après Murray et Renard, la description d'un échantillon collecté au tube sondeur.

Profondeur 179 mètres, Station 141 « Challenger » (34° 41′ Lat. S., 18° 36′ Long. E.). SABLE VERT avec des particules blanches, légèrement cohérent à sec, granuleux. Résidu vert.

1. PHILIPPI, p. 31, tir. à part.

Carbonate de chaux, 49,46 °/o.

Foraminifères	(15 °/o)[1] globigérinidés. (25 °/o) textularidés, lagénidés, rotalidés, nummulitidés.
Autres organismes.	(9,46 °/o) gastéropodes, lamellibranches, ostracodes, fragments d'échinodermes, polyzoaires, coccolithes.

Résidu, 50,54 °/o.

Organismes siliceux	(6 °/o) spicules de spongiaires, moules blancs et vert pâle de foraminifères et autres organismes. Lituolidés. Diatomées.
Minéraux	(40 °/o) diam. moy. 0,35 mm. arrondis et anguleux; quartz, glauconie, feldspaths, grenat, mica noir, hornblende.
Parties fines	(4,54 °/o) matière colorée en vert (probablement organique), fragments de minéraux et de diatomées.

Observations.

Dans beaucoup de cas les grains de quartz sont arrondis et les feldspaths kaolinisés; tous les minéraux sont plus ou moins recouverts d'une substance verte. Petites concrétions phosphatées contenant de la glauconie.

1. Les chiffres entre parenthèses sont approximatifs, les autres sont déterminés quantitativement.

B. — LES DÉPOTS LITTORAUX

CHAPITRE I

ZONE LITTORALE OU INTERCOTIDALE

Cette zone comprend la portion du rivage qui est soumise au jeu de la marée. Les espèces animales y sont peu nombreuses, mais les individus abondants.

§ 1. — *Région subterrestre.*

Cette région est située au niveau des hautes mers d'équinoxe et est caractérisée par les gastéropodes : *Littorina rudis* et *Littorina neritoides*, qui peuvent rester assez longtemps hors de l'eau, et par les végétaux du genre *Lichina*.

§ 2. — *Région littorale.*

Le sommet de cette région correspond au niveau des Balanes. Au milieu, à la hauteur des hautes mers de syzygies, nous avons le niveau de *Mytilus edulis* avec des gastéropodes des genres *Littorina* et *Patella*. A la base de cette région se trouve l'horizon à *Murex erinaceus*.

§ 3. — *Région sublittorale.*

Située au niveau des basses mers d'équinoxe cette région, caractérisée par les genres *Haliotis* et *Pecten*, touche immédiatement aux régions marines proprement dites.

CHAPITRE II

ZONE DES LAMINAIRES

Cette zone s'étend du niveau de la basse mer jusqu'à environ 27 mètres. Elle est ainsi nommée à cause des algues brunes du genre *Laminaria* des côtes rocheuses, remplacées par les varechs du genre *Zostera* sur les côtes sablonneuses ou vaseuses.

Cette région est la plus riche sous le rapport de la vie animale et est celle dont les coquilles offrent les colorations les plus vives. On y rencontre des seiches, calmars, des mollusques herbivores des genres *Lacuna* et *Rissoa*, d'abondants bivalves. C'est la région des bancs d'huîtres.

CHAPITRE III

ZONE DES CORALLINES

Cette zone, comprise entre les limites de 27 à 92 mètres, doit son nom à une espèce d'algue. Elle est caractérisée par les mollusques herbivores des genres *Fissurella* et *Emarginula*, par les mollusques carnivores, tels que *Buccinum*, *Fusus*, *Natica*, par les bivalves *Pecten*, *Lima*, *Arca*, *Venus* et *Corbula*.

La zone des corallines comprend les grandes régions de pêche fréquentées par la morue, la merluche, la plie, le turbot et la sole.

CHAPITRE IV

ZONE DES CORAUX DE MER PROFONDE

Entre les limites de 92 à 103 mètres, cette zone contient des *nullipores* et des *térébratules*. Les coquilles sont relativement plus abondantes dans cette dernière zone à cause de l'uniformité de la température. Les individus sont petits et ont des couleurs peu brillantes.

C'est dans cette zone qu'on rencontre le plus de genres anciens, c'est-à-dire représentés dans les formations géologiques antérieures à l'époque actuelle. C'est là, en effet, que se rencontrent les *Crania, Thelis, Cryptodon, Dentalium.*

La zone des coraux de mer profonde est aussi caractérisée par les brachiopodes des genres *Terebratula*, *Terebratulina*, *Megerlia*, *Argiope*, *Waldheimia*, *Rynchonella*, qui s'attachent sur les polypiers, les alcyonaires et les colonies de bryozoaires.

C. — LES DÉPOTS TERRIGÈNES

CHAPITRE I

LE PLATEAU CONTINENTAL

Avant d'entreprendre l'étude des différentes espèces de dépôts terrigènes, formés à partir de l'isobathe de 200 mètres, il est utile de dire quelques mots de la région située entre la côte et l'isobathe de 200 mètres ou 100 brasses. Cette région a reçu le nom de *plateau*

continental (« continental shelf » des Anglais, « flachsee » des Allemands).

Etroit de quelques milles le long de la côte occidentale d'Espagne, de quelques dizaines de mètres le long de la Norvège; en face de la France il s'étend à l'ouest au delà du cap Finistère et de l'Irlande. Il relie en une masse compacte les îles Britanniques au reste de l'Europe. A l'exception d'une mince fissure, il constitue le fond de la mer du Nord. Au nord de la côte de Sibérie[1], il atteint une largeur de 640 kilomètres.

Comme la limite de pénétration de la lumière correspond en quelque sorte avec la limite du plateau continental, les plantes marines s'y développent en grande abondance.

Les dépôts qui recouvrent le plateau continental sont des galets, des graviers, des sables et des boues. Ils sont suivis par les dépôts terrigènes au delà de l'isobathe de 200 mètres.

Murray et Renard désignent l'isobathe de 200 mètres sous le nom de *ligne de boue* (mud line) qui serait en quelque sorte une démarcation entre les dépôts effectués en eau peu profonde et ceux effectués en eau profonde. C'est en effet généralement à partir de cette profondeur que, dans les mers largement ouvertes, les dépôts prennent un caractère moins littoral en accusant une plus grande proportion de matière amorphe argileuse.

Comme on admet généralement que les dépôts géologiques anciens se sont effectués dans des eaux peu

1. Spencer, p. 221.

profondes, étant donné qu'ils offrent de frappantes ressemblances avec les dépôts de nos rivages actuels, toute découverte expliquant la genèse des uns fournira des notions sur la genèse des autres.

La nature minéralogique des dépôts du plateau continental varie avec la constitution géologique des côtes environnantes et des bassins d'alimentation des fleuves. C'est ainsi que le fond de la mer Jaune est recouvert d'une vase amenée de l'intérieur des terres par le Hoang-Ho. Les argiles noirâtres entraînées par le Congo et le Niger se déposent dans le golfe de Guinée. Les parties les plus fines sont transportées par les courants marins jusque dans les régions équatoriales où ces sédiments fluviatiles se mélangent à la vase à globigérines, en abaissant sa teneur en carbonate de chaux. De même les boues rouges, charriées par l'Orénoque et l'Amazone, s'entassent en une large bande parallèle à la côte N.-E. de l'Amérique du Sud.

Les îles coralliennes sont bordées par des formations coralliennes tout comme nous trouvons des sables et des boues volcaniques autour des îles volcaniques.

En général, sur le plateau continental, le diamètre des grains des dépôts diminue à mesure que l'on s'éloigne de la terre.

Dans quelques cas, de grosses pierres sont amenées par les glaces flottantes et dispersées sur l'étendue entière du plateau continental ou même au-delà. Il en résulte quelquefois la formation de bancs sous-marins comme ceux de Terre-Neuve.

Certaines de ces pierres que l'on rencontre sur le fond du plateau continental proviendraient d'une abra-

sion s'effectuant sous l'eau, qui enlève la roche environnante et les laisse comme des témoins. Il existe de telles pierres sur la crête Wyville Thomson, qui unit l'Islande à l'Écosse, ainsi que dans le Pas-de-Calais.

Les matériaux légers transportés par le vent se déposent sur le plateau continental. Là se créent des roches d'origine à la fois minérale et organique : les coraux dans les régions chaudes et celles formées par les mollusques dans nos parages.

C'est encore sur le plateau continental que se forment, à l'embouchure des fleuves, les deltas apparents ou cachés. Ce phénomène est une conséquence de la propriété que possèdent les corps solides, en suspension dans un liquide, de fixer à leur surface, par attraction moléculaire, les sels dissous et de changer ainsi leur densité. Les alluvions charriées par les fleuves, une fois au contact des eaux salées, s'alourdissent et tombent sur le fond. Durant leur chute, elles sont plus ou moins dérangées par des causes secondaires telles que l'agitation des flots sous l'action du vent, des vagues, des marées et des courants marins.

Comme l'ont prouvé les recherches de Murray[1] et Irvine, l'eau de mer, en quelque localité que ce soit, contient des matières argileuses en suspension qui tendent à se déposer sur le lit des océans. Sur le plateau continental, ces particules en se déposant obéissent aux mouvements des flots, de sorte que la loi fondamentale de la géologie sous-marine, émise par M. le professeur Thoulet, peut s'énoncer ainsi :

1. Murray, 14.

« un sédiment se trouve sur le fond, partout où l'eau a été incapable de l'enlever pour le transporter ailleurs. »

CHAPITRE II

LES BOUES BLEUES

Ce nom a été donné, par Murray et Renard, aux dépôts que l'on rencontre le plus fréquemment en eau profonde sur le pourtour des continents ainsi qu'aux sédiments des mers fermées, plus ou moins en communication avec l'océan.

§ 1. — *Caractères généraux.*

Quand on les récolte, ces dépôts ont une couleur bleue due à la présence de matières organiques ainsi qu'à du sulfure de fer très divisé. Très souvent, ces boues dégagent une odeur d'hydrogène sulfuré. La partie supérieure d'une boue bleue, c'est-à-dire au contact de l'eau, est souvent rouge ou brune ; cette couleur indique la présence d'oxyde et d'hydrate ferrique qui sont réduits au fur et à mesure de l'accumulation du dépôt.

Ces sédiments peuvent contenir depuis des traces de carbonate de chaux jusqu'à 35 °/₀. Quelquefois la boue est très homogène, d'autres fois elle est hétérogène, contenant des fragments de roche et de coquilles.

La profondeur à laquelle on rencontre les boues bleues varie, d'après les échantillons du « Challen-

ger », de 200 à 5121 mètres, la moyenne étant de 2652 mètres.

Étant donné l'origine multiple de ce dépôt, on ne trouve aucune relation entre la teneur en carbonate de chaux et la profondeur, comme le montrent les chiffres suivants donnés par Murray et Renard :

Au-dessous de 900 mètres	10,61 °/₀ de CO^3Ca.
De 900 à 1800 —	10,85 —
— 1800 à 2700 —	18,94 —
— 2700 à 3600 —	9,41 —
— 3600 à 4500 —	10,86 —
Au-dessus de 4500 —	10,53 —

Les organismes calcaires que l'on rencontre généralement dans ce sédiment sont : des Globigérinidés, Rotalidés, Lagénidés, Miliolidés, Textularidés, Nummulitidés, Lamellibranches, Gastéropodes, Ostracodes, ainsi que des fragments d'Echinodermes, des Coccolithes et des Rhabdolithes.

Les *Parties fines* des boues bleues sont généralement inférieures à celles des *vases à radiolaires* et des *argiles rouges*. La table suivante donne une idée du diamètre des minéraux et du pourcentage des « parties fines » lorsque la profondeur augmente :

Profondeur	Minéraux	Diamètre	Parties fines
Au-dessous de 900 mètres	29,08 °/₀	0,137 mm.	53,22 °/₀
De 900 à 1800 —	30,18	0,102 —	56,48
— 1800 à 2700 —	19,77	0,118 —	58,29
— 2700 à 3600 —	23,33	0,115 —	62,25
— 3600 à 4500 —	18,00	0,119 —	66,23
Au-dessus de 4500 —	16,89	0,087 —	69,46

Tandis que la teneur en parties fines augmente avec la profondeur, le diamètre des minéraux décroît.

La table suivante donne la composition moyenne des échantillons de boue bleue du « Challenger ».

Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	7,52	
	— benthiques	1,75	
	Autres organismes. . .	3,21	12,48 %
Résidu	Organismes siliceux . .	3,27	
	Minéraux	22,48	
	Parties fines.	61,77	87,52 %
			100.00

§ 2. — *Composition chimique*

Les analyses suivantes du « Challenger » donnent une idée de la composition chimique d'une boue bleue:

		I		II	
Soluble dans HCl.	SiO^2	23,52		28,20	
	Al^2O^3	7,75		5,50	
	Fe^2O^3	7,50		5,61	
	$CaCO^3$	1,75		2,94	
	$MgCO^3$	1,14		0,76	
	$(PO^4)^2Ca^3$	traces		1,39	
	$CaSO^4$	0,58		0,42	
	Perte	4,92		5,60	
Insoluble.	SiO^2	39,84	52,84	36,00	49,58
	Al^2O^3	7,33		8,05	
	Fe^2O^3	3,73		2,77	
	CaO	1.63		2,51	
	MgO	0,31		0,25	

Si nous comparons ces résultats à ceux d'analyses de dépôts pélagiques, nous remarquons que la matière

insoluble est de beaucoup plus forte dans les boues bleues. Il n'y a pas lieu de s'en étonner, car les boues bleues sont essentiellement d'origine *terrigène*, ce qui veut dire que les éléments dont elles sont formées proviennent de la désagrégation des continents.

§ 3. — *Composition de l'eau d'imbibition des Boues bleues.*

Pour obtenir l'eau d'imbibition des Boues bleues Murray[1] et Irvine transformèrent un seau en drague et de cette manière obtinrent de la boue provenant du port de Granton (par 2-3 mètres), de la station maritime de Granton (par 5-9 mètres) et du Firth of Forth (par 30 mètres). Toutes les boues possédaient la couleur bleue-noire caractéristique, demeurant tant qu'on protégeait l'échantillon contre l'oxydation.

La boue était immédiatement transférée, au sortir de l'eau, dans un sac de toile où on la laissait égoutter. L'eau ainsi obtenue, à différents intervalles, était ensuite examinée au laboratoire. La 1re portion, généralement d'un litre, était obtenue après un égouttage d'une heure. La 2e portion était prise 6 heures après et se montait à environ 1, 5 l. Les 3e, 4e et 5e portions, prises à des intervalles de 24 heures chacune, se composaient respectivement de 4 l., 3 l. et 1 litre. A chaque localité, la quantité d'eau d'imbibition se monta à environ 9 litres pour 100 kilogrammes de boue. Murray et Irvine estimèrent que les portions

(1) Murray, 15.

3 et 4 devaient représenter l'eau d'imbibition de la boue, les deux premières portions pouvant contenir de l'eau de mer ordinaire prise durant la remontée. L'eau d'imbibition d'une boue bleue du bassin de la Clyde, bien que récoltée par 90-130 mètres, se trouva en tous points semblable à celle des boues du Firth of Forth.

La table comparative suivante montre les sels en solution dans l'eau de mer normale et dans l'eau d'imbibition des boues bleues.

	Eau de mer	Eau d'imbibition
$NaCl$	77,758	79,019
$MgCl^2$	10,878	11,222
$MgBr^2$	0,217	0,220
$MgSO^4$	4,737	3,232
K^2SO^4	2,465	2,506
$(NH^4)^2SO^4$	—	0,206
$MgCO^3$	—	0,909
$CaCO^3$	0,345	2,686
$CaSO^4$	3,600	—
	100,000	100,000

Ces chiffres doivent être pris comme des moyennes.

Dans la table ci-dessous, nous avons le pourcentage des éléments non combinés de l'eau de mer et de l'eau d'imbibition.

	eau de mer	eau d'imbibition
Cl.	55,292	56,239
Br.	0,188	0,191
SO^3.	6,410	3,424
CO^2.	0,152	1,656

	Eau de mer.	Eau d'imbibition.
CaO.	1,676	1,504
MgO.	6,209	6,315
K^2O.	1,332	1,355
Na^2O.	41,234	41,941
$(NH^4)^2O$.	—	0,081
— Oxygène basique	— 12,493	— 12,706
	100,000	100,000

Les résultats ci-dessus nous amènent aux conclusions suivantes :

1° *L'acide sulfurique* est en grande diminution dans l'eau d'imbibition.

2° *Les sels ammoniacaux* de l'eau d'imbibition sont en grand excès sur ceux de l'eau de mer ordinaire, variant de 4 à 80 parties par million, tandis que, pour l'eau de mer normale, le rapport est de 0,02 pour un million.

3° *L'alcalinité* de l'eau d'imbibition (due à la présence de bicarbonates) est en augmentation sur celle de l'eau de mer qui recouvre immédiatement la boue. Les chiffres suivants sont donnés par Murray et Irvine :

Alcalinité calculée en CO^3Ca.

Eau d'imbibition de Queensferry	= 0,3395	gr.	par kg.
— Port de Granton	= 0,6804	—	—
— Marine Station (hiver)	= 0,6880	—	—
— — (été)	= 1,3737	—	—

L'alcalinité de l'eau de mer recouvrant immédiatement la boue variait de 0,1072 gr. à 0,1200 gr. par kg.

Ces résultats montrent que, dans l'eau d'imbibition des boues bleues, la principale augmentation en alca-

linité provient de la décomposition des sulfates par la matière organique et la subséquente décomposition des sulfures alcalino-terreux par l'anhydride carbonique ainsi formé. Ainsi le soufre (S) de l'acide sulfurique (SO^3), présent comme sulfate de chaux dans l'eau de mer, est extrait, puis fixé dans la boue contenant du fer comme sulfure de fer (FeS), tandis que l'acide carbonique prend la place de l'acide sulfurique, d'où il résulte la formation d'une certaine quantité de bicarbonate de chaux proportionnelle au soufre fixé dans la boue comme sulfure.

En portant à l'ébullition de l'eau d'imbibition parfaitement claire, un précipité cristallin se forme qui, analysé, donna les résultats suivants :

$$
\begin{aligned}
CaCO^3 &= 73,30 \\
MgCO^3 &= 26,70 \\
\hline
&\ \ 100,00
\end{aligned}
$$

Avant l'ébullition, l'eau avait une alcalinité de 0,7760 gr. par litre, tandis qu'après cette opération, l'alcalinité tomba à 0,2200 gr. ; ces faits prouvent donc que l'alcalinité est due à la présence de bicarbonates.

Supposons maintenant que l'eau d'imbibition, avec sa composition particulière, se mélange à l'eau de mer, située immédiatement au-dessus de la boue, l'alcalinité de cette dernière sera considérablement augmentée. Nous avons ici l'explication du fait signalé par Dittmar, à savoir que les eaux du fond sont plus alcalines que les eaux de surface.

Les principales réactions qui se passent dans les boues bleues sont les suivantes :

(1) $RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS$

où R est un métal alcalino-terreux

(2) $RS + 2CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3CO^2$

(3) $RS + RCO^3CO^2 + H^2O = 2RCO^3 + H^2S$

L'hydrogène sulfuré formé dans cette dernière réaction, rencontrant de l'oxyde ferrique (Fe^2O^3), présent dans la couche superficielle de la boue, la réaction suivante s'effectuera :

(4) $Fe^2O^3 + 3H^2S = 2FeS + S + 3H^2O$

Une partie du soufre est fixée dans la boue comme sulfure, et s'il n'y a pas assez de fer dans la boue l'hydrogène sulfuré s'échappera dans l'eau, où, rencontrant de l'oxygène, il s'oxydera en acide sulfurique (SO^4H^2) et reformera un sulfate (RSO^4).

C'est le sulfure de fer, comme nous l'avons vu, qui donne aux boues bleues leur couleur caractéristique. Le soufre ainsi est continuellement extrait de l'eau de mer, puis fixé dans les sédiments qui, une fois exondés, formeront des schistes et marnes bleues. Dans ces roches, les *pyrites* (FeS^2), proviennent également de la réduction des sulfates par la matière organique, non pas du soufre des organismes comme on le croit souvent. Le sulfure ferreux des boues bleues est transformé en sulfure ferrique lorsqu'elles sont solidifiées. Cette transformation peut être due à une oxydation du sulfure ferreux en sulfate ferrique [$(SO^4)^3Fe^2$], qui, en présence de matière organique, sera réduit en sulfure ferreux et en soufre qui, à leur tour, pourront se recombiner pour donner du sulfure ferrique (FeS^2).

§ 4. — *Résumé.*

1° La composition chimique de l'eau d'imbibition des boues bleues est différente de celle de l'eau de mer normale.

2° Lorsque, sur le fond de la mer, nous avons de la matière organique en décomposition, il en résultera une réduction des sulfates alcalino-terreux et une augmentation de l'alcalinité.

3° Le soufre extrait des sulfates en solution est fixé dans la boue, à l'état de sulfure de fer, qui donne aux boues bleues leur couleur caractéristique.

4° Ces différentes réactions nous donnent une idée de la formation des pyrites dans certaines formations sédimentaires.

CHAPITRE III

LA BOUE ROUGE

Le long de la côte du Brésil et dans la mer Jaune, les dépôts terrigènes diffèrent de ceux qu'on rencontre ordinairement le long des côtes des continents par leur couleur rouge brunâtre, indiquant que le fer se trouve à l'état de peroxyde. Ces dépôts proviennent de l'intérieur des terres d'où ils sont charriés dans la mer par l'Amazone, l'Orénoque et le Yang-tsé-Kiang.

L'absence de sulfure de fer dans ces sédiments est très étonnante, étant donné qu'ils contiennent de la matière organique qui devrait être capable d'opérer des réductions. Un autre fait intéressant est *la totale*

absence de glauconie en grains ou en moules de foraminifères ou autres organismes calcaires. La connaissance de la composition chimique de l'eau d'imbibition de ces boues pourra seule nous permettre de donner une explication satisfaisante de ces anomalies.

Les organismes calcaires et les minéraux ne diffèrent en aucune façon de ce qu'ils sont dans les boues bleues et les boues vertes.

L'analyse suivante d'une boue rouge est donnée par Murray et Renard :

SiO^2	=	31,66
Al^2O^3	=	9,21
Fe^2O^3	=	4,52
CaO	=	25,68
MgO	=	2,07
Na^2O	=	1,63
K^2O	=	1,33
SO^3	=	0,27
CO^2	=	17,13
Cl	=	2,46
Perte	=	6,02
		101,98

La teneur de 1,63 °/₀ en Na^2O est probablement causée par du chlorure de sodium provenant d'eau de mer retenue par la boue, comme l'ont démontré des expériences de ces derniers auteurs.

CHAPITRE IV

LES BOUES VERTES ET LES SABLES VERTS

Ces sédiments ressemblent beaucoup, par leur composition, aux boues bleues, dont ils se distinguent cependant par une grande quantité de *glauconie*, qui devient par là même la carastéristique de ces dépôts. On rencontre également, mêlée à la boue, une matière amorphe, verte, organique car elle devient noire après avoir été chauffée sur la lame de platine et qui laisse ensuite une cendre colorée en brun par de l'oxyde de fer.

Les sables verts les plus purs furent dragués par le « Tuscarora », en 1873, sur la côte occidentale de l'Amérique du nord ; ils consistent presque exclusivement en grains de glauconie d'un diamètre d'environ 0,6 mm., avec quelques rares foraminifères et des grains de quartz. Ce fut un de ces échantillons qui permit à MM. Collet et Lee [1] de déterminer la composition chimique de la glauconie.

Le carbonate de chaux, dans les échantillons du « Challenger », varie de traces jusqu'à 56,18 °/₀; la moyenne est de 25,52 °/₀ et se compose de 14,59 °/₀ de coquilles de foraminifères pélagiques, de 2,94 °/₀ de foraminifères benthiques et de 7,90 °/₀ d'autres organismes calcaires.

Le tableau suivant donne une idée de la différence qui existe entre les boues bleues, les boues vertes et les sables verts :

1. Voir p. 167.

		Boues bleues		Boues vertes		Sables verts	
Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques.	7.52		14.59		21.00	
	— benthiques	1 75		2.94		15.00	
	Autres organismes . .	3.21		7.99		13.78	
			12.48		25.52		49.78
Résidu.	Organismes siliceux . .	3.27		13.67		8.00	
	Minéraux	22.48		27.11		30.01	
	Parties fines	61.77		33.70		12.20	
			87.52		74.48		50.22
			100.—		100.—		100.—

Les sables verts diffèrent des boues vertes par leur aspect granuleux, dû à une plus petite quantité de matière amorphe. Généralement on les rencontre dans des eaux moins profondes que les boues.

Les boues et les sables verts sont presque toujours développés le long des côtes escarpées et exposées, où aucun grand fleuve n'apporte de matières détritiques dans la mer, à une profondeur n'excédant généralement pas 2000 mètres.

Comme nous l'avons vu précédemment, la *glauconie*, minéral se formant actuellement dans certains dépôts terrigènes, est la caractéristique des boues et sables verts, tandis que les boues bleues n'en contiennent que rarement. En discutant, comme nous le faisons en détail à la page 168, de la présence ou de l'absence de cet intéressant minéral dans les sédiments marins, nous arrivons à faire la distinction suivante entre une boue bleue et une boue verte :

Les boues bleues, comme nous l'avons vu dans un chapitre précédent, contiennent souvent de l'hydrogène sulfuré provenant de la réduction des sulfates par la matière organique toujours présente en quan-

tité variable dans ce sédiment. Le sulfure de fer, caractéristique des boues bleues, en présence d'hydrogène sulfuré, ne peut pas se combiner pour former un silicate de fer ou mieux de la glauconie. Supposons maintenant qu'une boue bleue ne renferme pas d'hydrogène sulfuré, le sulfure de fer peut alors se transformer en sulfate qui, à son tour, pourra se combiner et former un silicate de fer, c'est-à-dire de la glauconie; la boue bleue, de ce fait, pourra contenir de la glauconie, elle passera alors graduellement à une boue verte.

Les deux analyses suivantes, données par Murray et Renard, indiquent la composition chimique de deux sables verts.

		I. Profondeur 179 m.		II. Profondeur 750 m.	
Soluble dans HCl.	SiO^2	8,35		9,28	
	Al^2O^3	2,30		2,50	
	Fe^2O^3	4,70		12,30	
	$CaCO^3$	49,46		46,36	
	$CaSO^4$	1,07		0,58	
	$(PO^4)^2Ca^3$	traces		0,70	
	$MgCO^3$	2,02	67,90	0,57	72,29
Insoluble	SiO^2	21,35		21,99	
	Al^2O^3	0,95		1,58	
	Fe^2O^3	0,35		0,42	
	CaO	0,22		0,30	
	MgO	0,13	23,00	0,12	24,41
	Perte au feu		9,10		3,30
			100,00		100,00

La question de la distribution des sables et boues vertes est traitée tout au long dans le chapitre « Glauconie », nous y renvoyons donc le lecteur.

CHAPITRE V

LES BOUES ET LES SABLES VOLCANIQUES

Autour des îles océaniques, d'origine volcanique, on rencontre des sédiments composés en majeure partie de matériaux provenant de l'attaque et de la décomposition des roches volcaniques. Près de la côte, où se fait encore sentir l'action des vagues, on trouve un sable presque entièrement composé de débris



Fig. 2. — Fragments de verre volcanique, d'une boue volcanique du Pacifique. 2517 m. « Nero ». $\frac{15}{1}$.
(D'après J.-M. Flint)

de roches volcaniques avec quelques fragments de restes d'organismes calcaires. Au fur et à mesure que

la profondeur augmente et qu'on s'éloigne de l'île, le sable se transforme en une boue contenant une forte proportion de matière argileuse, ainsi que du carbonate de chaux provenant de coquilles calcaires. On comprendra aisément que ces sédiments varient beaucoup, quant à leur composition et à leur apparence, suivant le lieu d'où ils proviennent. Dans certaines régions, nous les voyons passer graduellement à des boues bleues ou à des boues vertes; dans d'autres, où la profondeur est plus grande, les boues volcaniques passent graduellement aux dépôts pélagiques.

Boues volcaniques.

Le « Challenger » recueillit 38 échantillons de boues volcaniques entre les profondeurs de 476 m. à 5121 mètres. Entre la profondeur de 3600 mètres à celle de 5121 mètres, on ne rencontra que des traces de carbonate de chaux, tandis qu'à celle de 476 mètres, le sédiment en contenait 56,59 °/o. La teneur moyenne en carbonate de chaux est de 20,49 °/o dont 10,50 °/o sont représentés par des restes de foraminifères pélagiques, 2,82 °/o, par des foraminifères benthiques et le reste, soit 7,17 °/o, par des autres organismes calcaires. Le résidu varie de 43,41 °/o à presque 100 °/o, avec une moyenne de 79,51 °/o. Les restes d'organismes siliceux varient de 1 à 5 °/o; ce sont des radiolaires, des diatomées, des spicules d'éponges et des foraminifères arénacés. On ne rencontre pas de moules glauconitiques et de glauconie en grains dans les véritables sables et boues volcaniques. Les particules minérales représentent de 5 à 75 °/o du dépôt et

sont presque toujours angulaires ; leur diamètre varie de 0,06 mm. à 0,20 mm. On peut dire que le quartz est absent de ces sédiments, car il n'y a été rencontré qu'une seule fois.

Sables volcaniques.

Le « Challenger » rencontra des sables volcaniques en 7 localités différentes, jusque par 914 mètres de profondeur. On rencontre des sables aux localités où le fond est encore agité par l'action des vagues et des courants; les parties les plus fines ayant été entraînées dans les régions plus profondes.

Le tableau suivant donne une idée de la composition moyenne des boues et des sables volcaniques :

		BOUES		SABLES	
Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	10.50		13.00	
	— benthiques	2.82		3.80	
	Autres organismes	7.17		11.99	
			20.49		28.79
Résidu	Organismes siliceux	1.82		1.40	
	Minéraux	40.82		60.00	
	Parties fines	36.87		9.81	
			79.51		71.21
			100.00		100.00

Comme le montrent les chiffres ci-dessus, les sables diffèrent des boues, par une plus grande quantité de minéraux, 60 °/₀ contre 40,82 °/₀, et par une proportion beaucoup plus faible de matière argileuse, 9,81 °/₀ contre 36,87.

Les minéraux varient beaucoup suivant la compo-

sition minéralogique des roches dont ils proviennent. Les plus caractéristiques sont : la sanidine, les plagioclases, l'augite, la hornblende, les pyroxènes rhombiques, l'olivine et la magnétite. Les lapilli appartiennent surtout aux séries basaltiques et andésitiques et sont souvent transformés en palagonite.

M. Flint[1], qui étudia les dépôts recueillis en 1899, par le « Nero », signala des boues volcaniques sur presque tout le trajet de Guam à Yokohama, parallèle en quelque sorte aux groupes d'îles volcaniques des Ladrone et des Bonin.

CHAPITRE VI

LES BOUES ET SABLES CORALLIENS

Tout comme le long des côtes des îles volcaniques nous trouvons des sables et des boues volcaniques, le long des îles et des récifs coralliens, le tube sondeur ramène des boudins de boue corallienne et la drague des sables coralliens. Ces sédiments sont formés par des fragments de restes d'organismes vivant en eau peu profonde ou sur les récifs, tels que : coraux, algues calcaires, mollusques, polyzoaires, annélides, échinodermes et foraminifères.

Les sables coralliens ne doivent pas leur origine qu'à la seule action des vagues ; ils sont aussi le résultat de l'action perforatrice de certains organismes, comme les éponges et les mollusques qui forent à tel

1. Flint, p. 13.

point les coraux que la colonie s'affaisse par son propre poids.

Les boues représentent l'accumulation en eau plus profonde des parties les plus fines des sables, emmenées en suspension par les courants, les marées et les vagues. Ces parties fines sont le résultat d'une pulvérisation due à l'action mécanique des vagues d'un côté et d'un autre à celle des organismes se nourrissant de sable comme les holothuries. Lorsqu'on s'éloigne toujours plus de l'île et que la profondeur augmente, les coquilles d'hétéropodes, de ptéropodes, de foraminifères pélagiques deviennent plus abondantes et finalement nous avons le passage d'une boue corallienne à une vase à ptéropodes ou à globigérines. Les boues coralliennes sont d'une couleur blanche ou grise provenant de la grande quantité de carbonate de chaux qui, dans les échantillons du « Challenger », varie de 77,38 °/₀ à 89,68 °/₀, la moyenne étant de 85,53 °/₀. Les restes de foraminifères pélagiques forment en moyenne les 31,27 °/₀ de la boue, les foraminifères benthiques, les 14,64 °/₀ et les autres organismes calcaires, les 39,62 °/₀.

Le résidu est toujours d'une couleur brune ou rougeâtre et varie entre les limites de 10,32 et 22,62 °/₀, la moyenne étant de 14,47. Les organismes siliceux ne sont jamais abondants et leur teneur moyenne ne se monte qu'à 1,30 /₀ ; ce sont des spicules d'éponges, des diatomées et des radiolaires. Les particules minérales ne forment que 1°/₀ du dépôt, elles sont angulaires et d'un diamètre moyen de 0,07 mm.

Murray et Renard donnent, comme suit, la com-

position moyenne d'une boue et d'un sable coralliens :

		BOUE		SABLE	
Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques . .	31.27		36.25	
	— benthiques . .	14.64		20.00	
	Autres organismes	39.62		30.59	
			85.53		86.84
Résidu	Organismes siliceux	1.36		5.00	
	Minéraux	1.00		3.75	
	Parties fines	12.11		4.41	
			14.47		13.46
			100.00		100.00

Composition chimique d'un sable corallien du « Challenger »

CaO	50,27
MgO	3,00
Al^2O^3, Fe^2O^3, P^2O^5	1,42
CO^2	42,28
Matière organique	2,78
Mn	traces
SiO^2	traces
Alcalis	traces
	99,75

La forte teneur en magnésie est à noter (3,00 % de MgO = 6,30 % de CO^3Mg) ; elle prouve une fois de plus qu'il se produit une dissolution du carbonate de chaux et un enrichissement en carbonate de magnésie, ce dernier sel étant moins soluble que le premier. Les coraux, en effet, d'après Hogbœm [1], ne contiennent

1. Hogbœm, p. 268.

que de 0,16 à 0,97 °/₀ de carbonate de magnésie. Un fait semblable à celui que nous signalons fut également observé par ce dernier auteur dans une boue corallienne de la mer de Java ; ce sédiment contenait 3,72 °/₀ de carbonate de magnésie contre 27,74 de carbonate de chaux, tandis qu'un corail de la même région ne contenait que 0,16 °/₀ de carbonate de magnésie contre 93,33 °/₀ de carbonate de chaux.

Les sables et les boues coralliens recouvrent de grandes superficies autour des récifs coralliens et sont développés dans l'océan Pacifique. Dans l'océan Indien, la surface occupée par ces sédiments est 16 fois plus grande que celle occupée par les récifs. En certains cas l'accumulation des boues doit être très rapide, car on a de la peine à y découvrir des restes d'organismes qui abondent dans les eaux de surface.

CHAPITRE VII

MESURE DE LA SÉDIMENTATION DANS LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

§ 1. — *Mesure de l'activité des eaux courantes*

En réunissant les données relatives aux principaux fleuves du monde, Sir John Murray[1] a trouvé que les cours d'eau, pour un débit annuel de 3 610 kilom. cubes, amenaient à la mer une masse de sédiments égale à 1385 millièmes de kil. cube, soit $\frac{38}{100\,000}$ du débit.

Le volume total annuellement débité par tous les

1. In De Lapparent, vol. I, p. 231.

fleuves est estimé par Sir JOHN MURRAY à 27 000 ou 28 000 kil. c. Si l'on applique le rapport $\frac{38}{100\,000}$ à ce dernier chiffre, on trouve que l'Océan recevrait un apport annuel de 10 kil. c. et 43 cent. de matières solides, soit : $\frac{1}{9730\,000}$ du volume total des continents.

M. de Lapparent, appliquant ce chiffre au volume de la terre, représenté par un plateau uniforme de 700 mètres d'altitude sur 145 millions de kil. carrés, trouve que ce plateau perdra chaque année une tranche de sept centièmes de millimètre. Mais ce qui d'un côté est enlevé aux continents est de l'autre déposé sur le fond de l'Océan et relève le niveau de ce dernier de $\frac{285}{10\,000}$. Au total l'altitude des continents perdra $\frac{985}{10\,000}$ c'est-à-dire presque un dixième de millimètre par an. Ainsi par le seul fait de l'érosion continentale *sept millions d'années* amèneraient la disparition complète de la terre émergée.

§ 2. — *Vitesse de formation des dépôts terrigènes.*

Comme le fait justement remarquer M. de Lapparent, le chiffre de 10 kilomètres cubes représente la perte infligée à la terre ferme par les fleuves qui se jettent dans la mer. Si l'on tient compte des espaces auxquels tout écoulement maritime fait défaut et qui subissent une érosion au profit des dépressions intérieures, le chiffre de 10 kilomètres cubes se trouve doublé. Le nombre d'années nécessaires au nivellement

de la terre ferme se réduirait donc à trois et demi millions.

M. de Lapparent évalue à 12 kilomètres cubes la quantité de sédiments provenant de l'érosion continentale et de l'érosion marine. Ces dépôts détritiques selon Sir John Murray, s'étendraient sur une surface de 73 millions de kilomètres carrés[1], *soit le cinquième de la surface occupée par le fond des océans.*

Les dépôts ne sont pas d'une puissance égale sur toute la largeur de la bande sédimentaire terrigène. C'est contre les rivages que s'accumule la plus forte épaisseur de sédiments, que M. de Lapparent estime au triple du chiffre moyen, c'est-à-dire presque égale à un demi-millimètre par an, soit *cinq cents mètres* par million d'années.

§ 3. — *Répartition des dépôts terrigènes.*

Sir John Murray fit remarquer que l'océan Pacifique, grâce à la disposition des Andes, ne participe à la chute annuelle de pluie sur la terre ferme que pour 20 800 kilomètres cubes, tandis que 66 000 appartiennent à la surface de drainage de l'océan Atlantique.

L'océan Indien, qui n'a pas même le tiers de la superficie du Pacifique, reçoit un tribut presque égal. Proportionnellement à la surface, il ne reçoit que la moitié de ce qui revient à l'Atlantique.

Sir John Murray attribue à l'Atlantique 28 °/₀ de sa superficie en dépôts sédimentaires, tandis que le Pacifique n'en aurait que 10 °/₀. *La sédimentation serait*

1. De Lapparent, vol. I, p. 261.

donc en raison inverse de la superficie des mers au sein desquelles elle s'effectue.

D. — LES DÉPOTS PÉLAGIQUES

CHAPITRE I

LA VASE A GLOBIGÉRINES

§ 1. — *Caractères généraux.*

Bailey fut le premier auteur qui signala la présence des coquilles de globigérines sur le fond de la mer. En effet, en 1857, après avoir étudié les matériaux collectés par le comte de Pourtalès sur la côte Atlantique de l'Amérique Nord, il comprit les dépôts contenant des globigérines sous le nom de « Globigerina Marl » ou marne à globigérines.

Après la croisière du Challenger, le nom de « vase à globigérines » fut attribué, par Murray et Renard, aux dépôts marins qui ne contiennent pas moins de 30 °/₀ de carbonate de chaux provenant en majeure partie de coquilles de globigérines. Cette distinction, faite par ces auteurs, s'imposait, étant donné que, si l'on appelait vase à globigérines tous les dépôts qui contiennent plus de 10 °/₀ de foraminifères, presque tout le fond de la mer en serait recouvert. Les foraminifères sont, en effet, présents dans presque tous les dépôts, en plus ou moins grande quantité, de l'équateur aux pôles. Sur le bord des continents leur présence est souvent masquée par l'accumulation rapide des sédiments détritiques. Il n'y a guère que dans les grandes profondeurs que nous ne rencontrions

pas de restes de ces organismes calcaires ; comme nous le montrerons en détail dans le chapitre traitant du carbonate de chaux, cette absence totale est due à une dissolution des coquilles durant leur descente de la surface au fond.

La couleur de la vase à globigérines est généralement d'un blanc laiteux ou rosâtre, loin du continent ;

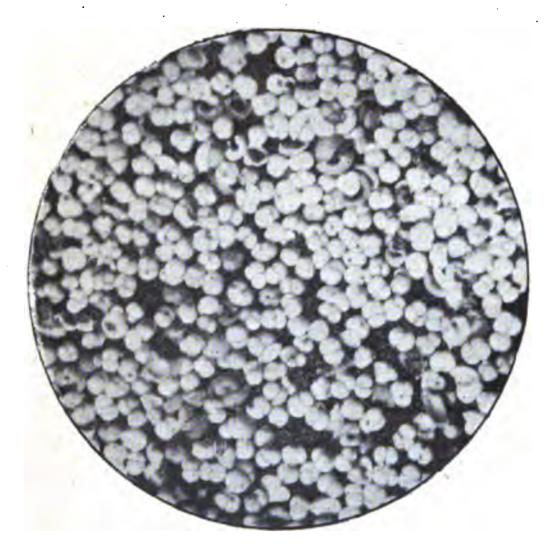


Fig. 3. — Fine vase à globigérines du Pacifique. 1317 m. « Nero ». $\frac{15}{1}$ (D'après J.-M. FLINT).

près des côtes, elle est d'une couleur grise ou même bleue, grâce à la présence de matières détritiques.

On y rencontre quelquefois des grains d'oxyde de manganèse, des cendres volcaniques, des lapilli et des

fragments de pierre ponce. Dans les dépôts des régions tropicales les foraminifères sont visibles à l'œil nu ; par contre, dans les régions polaires et tempérées on ne peut les distinguer qu'à la loupe.

La teneur en *carbonate de chaux*, due à la présence de foraminifères pélagiques, varie de 25 à 80 %, la moyenne étant de 53,10 %. Les foraminifères benthiques ne forment, en moyenne, que les 2,13 % du sédiment. Les autres organismes calcaires représentent, en moyenne, les 9,24 % ; dans les vases à globigérines des faibles profondeurs, les mollusques, coraux, éponges, algues calcaires, coccolithes et rhabdolithes peuvent représenter jusqu'à 31,77 % du dépôt, tandis que, dans les régions plus profondes, cette teneur peut s'abaisser jusqu'à 1,16 %.

Le *résidu* se compose premièrement d'organismes siliceux, dont la teneur moyenne est de 1,64 %. Parmi ceux-ci, il faut citer les restes de radiolaires, des spicules d'éponges et des frustules de diatomées. Des foraminifères arénacés ainsi que des moules glauconitiques se rencontrent quelquefois dans quelques rares échantillons provenant de localités peu éloignées du continent. Ces restes d'organismes siliceux sont quelquefois très difficiles à trouver et il faut souvent étudier une grande quantité de matériel avant de les découvrir après élimination du carbonate de chaux. Murray et Renard se demandent même s'ils n'ont pas pu être dissous dans ce sédiment car il est, dans de certains cas, impossible de les trouver. Voyons maintenant en quoi consistent les minéraux des vases à globigérines. Dans les purs échantillons du « Challenger », les minéraux sont généralement très petits

et peu abondants, ne formant, dans beaucoup de cas, que 1 °/₀ de l'échantillon; dans les échantillons qui proviennent d'une localité située sur la bordure des boues bleues, comme la station 318 du « Challenger », nous rencontrons jusqu'à 50 °/₀ de minéraux. La



Fig. 4. — Vase à globigérines. Pacifique. 1317 m. « Nero ». $\frac{15}{1}$. (D'après J.-M. Flint).

teneur moyenne du « Challenger », empressons-nous de le dire, est de seulement 3,33 °/₀. Le diamètre varie de 0,06 mm. à 0,80 mm., la moyenne étant de

0,089 mm. Dans la majorité des cas, les contours sont angulaires, sauf dans les échantillons provenant de localités proches des côtes où ils sont arrondis.

Parmi les 118 échantillons de vases à globigérines du « Challenger », Murray et Renard rencontrent : la magnétite (95 fois), les feldspaths (86), l'augite (82), des particules de verre volcanique (63), la hornblende (58), le quartz (49), de la pierre ponce (45), des oxydes de manganèse (37), les micas (31), des plagioclases (24), la sanidine (21), l'olivine (19), des lapilli (18), la glauconie (13), la palagonite (10), l'enstatite, la bronzite, le pyroxène, le grenat, la tourmaline, le zircon, l'actinolite, le microcline, la serpentine, la phillipsite, les sphérules magnétiques (de 1 à 5 fois). On rencontre quelquefois des concrétions phosphatées et des nodules de manganèse ; la première de ces formations dans les vases proches des continents, la seconde dans celles, au contraire, situées en eau profonde.

Les parties fines du résidu augmentent avec la profondeur, tandis que le diamètre des minéraux diminue.

La table suivante représente la composition moyenne, d'après Murray et Renard, des 118 échantillons du « Challenger ».

Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	53,10	
	— bentiques	2,13	
	Autres organismes	9,24	64,47
Résidu	Organismes siliceux	1,64	
	Minéraux	3,33	
	Parties fines	30,56	35,53
			100,00

En général, les principaux constituants du résidu d'une vase à globigérines sont, à peu de chose près, les mêmes que ceux d'une argile rouge.

§ 2. — *Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines.*

Les principaux éléments d'une vase à globigérines sont les coquilles de foraminifères pélagiques, de foraminifères benthiques et des fragments de coquilles de flagellates pélagiques, connus sous le nom de *coccolithes* et *rhabdolithes*.

D'une manière générale, les foraminifères pélagiques ou planktoniques sont de beaucoup plus importants, surtout dans le sédiment qui nous occupe, que les foraminifères benthiques. Ces derniers sont cependant quelquefois si abondants en eau peu profonde qu'ils constituent à eux seuls la majorité du dépôt, qui de ce fait pourra être qualifié de *benthogène*. Nous avons ainsi une boue à *Amphistegina* au Cap Vert, à *Orbitolites* aux Fidji, à *Heterostegina* à Amboine.

La liste suivante contient les espèces de foraminifères pélagiques, dont les coquilles forment la majeure partie des vases à globigérines.

Trop.	Globigerina	sacculifera	Brady.
	—	aequilateralis	—
Trop.	—	conglobata	—
	—	dubia	Egger.
	—	rubra	d'Orb.
Temp Pol.	—	bulloides	—
Temp.	—	inflata	—
	—	digitata	Brady.

Temp.	Globigerina cretacea	d'Orb.
Pol.	— Dutertrei	Brady.
Temp.	Orbulina universa	d'Orb.
—	Hastigerina pelagica	d'Orb.
Trop.	Pullenia obliquiloculata	Parker and Jones.
Trop.	Sphaeroidina dehiscens	—
—	Candeina nitida	d'Orb.
—	Cymbalopora bulloides	d'Orb.
Trop.	Pulvinulina Menardi	d'Orb.
	— tumida	Brady.
Temp.	— canariensis	d'Orb.
Temp.	— micheliniana	d'Orb.
	— crassa	d'Orb.

Trop. désigne les esp. principales des régions tropicales.
Temp. — — — tempérées.
Pol. — — — polaires.

Certaines espèces comme *Pullenia obliquiloculata* et *Globigerina aequilateralis* appartiennent plus spécialement à l'océan Indien et au Pacifique, tandis que *Pulvinulina Menardi* et *Globigerina rubra* sont spécialement abondantes dans l'Atlantique tropical.

Les plaquettes calcaires des *Coccolithophoridès*[1], algues pélagiques appartenant à l'ordre des flagellates, joue souvent un rôle important dans la constitution d'une vase à globigérines. Ces plaquettes de forme elliptique, connues, depuis Huxley, sous le nom de *Coccolithes* et *Rhabdolithes*, sont surtout abondantes dans les parties chaudes des régions tempérées et forment quelquefois jusqu'à 15 °/₀ d'une vase à globigérines. Le point le plus septentrional où l'on ait rencontré des rhabdosphères dans les eaux de surface

1. LOHMANN.

se trouve par 41° 30′ de lat. N, la distribution de cette algue semble intimement liée à une question de température de l'eau, qui ne devrait pas être inférieure à 18°5. Par contre les coccosphères ont été rencontrées par Ostenfeld, jusqu'à 64°45′ de lat. N., dans une eau dont la température était de 5°.

Les coquilles de ptéropodes et d'hétéropodes, sont

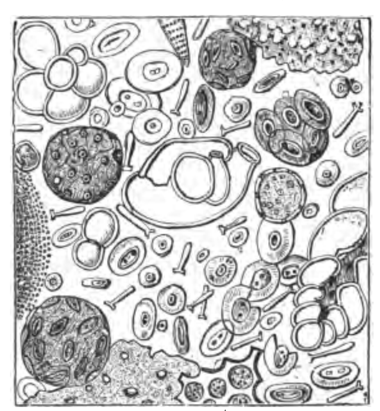


Fig. 5. — Les parties les plus fines d'une vase à globigérines montrant des Coccophères, Coccolithes et Rhabdolithes (D'après Ency. Brit. 9 ed.)

souvent tellement abondantes, dans les régions tropicales et subtropicales, que la vase à globigérines passe, entre 700 et 2 750 mètres, à une vase à ptéropodes.

§ 3. — *Composition chimique.*

Les deux analyses suivantes de vases à globigérines, recueillies par le « Challenger », permettent de se

faire une idée de la composition chimique de ces sédiments :

		I. Station 64 par 4338 m.		II. Station 302 par 2652 m.	
	Perte au feu		7,90		1,00
Soluble dans HCl.	SiO^2	12,96	65,39	1,83	97,18
	Al^2O^3	4,75		1,00	
	Fe^2O^3	5,95		1,72	
	MnO^2	traces		—	
	$CaCO^3$	37,51		91,32	
	$CaSO^4$	0,29		0,73	
	$(PO^4)^2Ca^3$	2,80		0,28	
	$MgCO^3$	1,13		0,30	
Insoluble	SiO^2	18,75	26,71		1,82
	Al^2O^3	6,35			
	Fe^2O^3	1,08			
	CaO	0,41			
	MgO	0,12			
			100,00		100,00

Le rôle important des organismes calcaires se traduit dans les analyses, par une forte teneur en carbonate de chaux, variant suivant la profondeur, comme le montrent les deux analyses ci-dessus. La perte au feu augmente avec les matières argileuses. Le phosphate de chaux provient de la décomposition de restes d'animaux marins, comme nous le verrons plus loin à propos des concrétions phosphatées.

Dans l'analyse II, dans laquelle la teneur en carbonate de chaux atteint 91,32 $^{\circ}/_{0}$, le carbonate de magnésie arrive seulement à 0,30 $^{\circ}/_{0}$, tandis que dans l'analyse I, dans laquelle nous avons 37,51 $^{\circ}/_{0}$ de carbonate de chaux, le carbonate de magnésie atteint 1,13 $^{\circ}/_{0}$. Il y a donc augmentation de carbonate de magnésie lorsque la teneur en carbonate de chaux diminue, c'est-à-dire lorsque la profondeur augmente ;

car, comme nous le verrons plus loin, la teneur en carbonate de chaux, dans le sédiment qui nous occupe, baisse à partir de 3 650 mètres. Cette remarque est basée non seulement sur les résultats des deux analyses ci-dessus, mais encore sur les résultats de toutes celles que donnent Murray et Renard. Nous avons donc là une preuve de plus à l'appui de la théorie qui envisage la présence du carbonate de magnésie dans les dépôts marins, comme une concentration, due à une élimination du carbonate de chaux par dissolution, ce dernier sel étant beaucoup plus soluble que le carbonate de magnésie. Un phénomène semblable se passe dans les récifs coralliens et les boues coralliennes, comme nous le faisons remarquer tout au long dans un chapitre spécial.

M. Hœgbom[1] a établi, d'après les analyses du « Challenger », la table suivante donnant le rapport du carbonate de magnésie au carbonate de chaux, dans les dépôts marins :

Limite des carbonates	Moyenne de Co³Ca	Moyenne de Co³Mg	Rapport du Co³Mg au Co³Ca	Nombre des analyses
De 80 à 100 %	86,7 %	0,7 %	0,8 %	8
— 60 — 80 %	68,3	1,4	2,0	8
— 40 — 60 %	52,0	1,2	2,4	8
— 20 — 40 %	32,0	0,9	3,0	3
— 10 — 20 %	16,2	1,6	10,0	4
— 5 — 10 %	6,1	0,7	11,5	1
— 3 — 5 %	3,7	1,6	43,0	7
— 1 — 3 %	2,0	2,1	105,0	9

1. Högbom, p. 267.

Le résidu d'une vase à globigérines, c'est-à-dire la partie du sédiment qui reste après l'élimination du carbonate de chaux par un acide faible, a une très grande analogie avec l'argile rouge, comme le montrent les deux analyses suivantes :

	Station 224 « Challenger » Profondeur 3383 mètres	Station 333 « Challenger » Profondeur 3640 mètres
SiO^2	64,16	50,47
Al^2O^3	15,13	18,01
Fe^2O^3	8,19	12,75
MnO^2	traces	3,00
CaO	1,66	1,71
MgO	1,79	2,44
K^2O	1,01	1,11
Na^2O	0,90	1,05
H^2O	7,10	10,93
Ba	traces	traces
P^2O^5	traces	traces
	99,94	101,47

§ 4. — *Distribution bathymétrique et géographique.*

Si nous jetons un rapide coup d'œil sur la carte générale des dépôts marins, que nous donnons à la fin de ce volume, nous remarquerons que la vase à globigérines occupe la presque totalité du fond de l'Atlantique, tandis que l'argile rouge occupe la plus grande partie du fond du Pacifique. D'où provient cette différence, étant donné qu'on rencontre les globigérines en grande abondance aussi bien dans les eaux de surface du Pacifique que dans celles de l'Atlantique ?

La carte bathymétrique nous en donne l'explication.

Le Pacifique est de beaucoup plus profond que l'Atlantique ; les coquilles qui tombent de la surface ont le temps d'être dissoutes durant leur descente à travers les différentes couches d'eau des grands fonds, tandis que, dans l'Atlantique, elles peuvent atteindre le fond où, en s'accumulant, elles forment la vase à globigérines.

Le tableau suivant, de MURRAY et RENARD, permet de se rendre compte du fait que la teneur en carbonate de chaux d'une vase à globigérines diminue lorsque la profondeur augmente.

3	échantillons	au-dessous de 900 m.	87,07 %	de $CaCO^3$
2	—	de 900 à 1 800 —	68,47 %	—
13	—	— 1 800 à 2 750 —	63,69 %	—
35	—	— 2 750 à 3 650 —	72,66 %	—
49	—	— 3 650 à 4 550 —	61,74 %	—
16	—	au delà de 4 550 —	49,58 %	—

L'expédition antarctique allemande du « Gauss »[1] rencontra également, dans l'Atlantique, les sédiments les plus riches en carbonate de chaux, entre les limites de 3 000 à 4 500 mètres. A cette profondeur, entre Sainte-Hélène et l'Ascension, la teneur moyenne en carbonate de chaux était même de 90 %, le maximum de 96,4 % provenant de la station 119 (9°46′ Lat. S., 8°31′ Long. W.) par 3 774 mètres de fond.

En 1899 et 1900 le « Nero »[2], étudiant la route pour la pose d'un câble entre les Etats-Unis et le

1. PHILIPPI, p. 30.
2. FLINT.

le Japon par les Philippines, recueillit 2074 échantillons de fonds marins. Un fait intéressant ressort de l'étude de ces sédiments faite par M. le Dr Flint et qui confirme en quelque sorte la théorie de Sir John Murray sur la disparition par dissolution des coquilles de foraminifères au fur et à mesure que l'on approche des grands fonds.

D'une manière générale les dépôts du « Nero » appartiennent à l'argile rouge. Sur une carte détaillée nous pourrions voir, intercalée dans ce sédiment, de la vase à globigérines qui, bien que peu abondante, n'en est pas moins très intéressante, car elle marque toujours une diminution de profondeur. En effet, dans la région considérée, le fond, d'après les sondages, ressemble à un vaste plateau avec de nombreux pics sous-marins. La profondeur générale est de 5200 mètres et le fond est recouvert d'argile rouge. Les pics, dont le sommet est compris entre les limites de 4000 à 1400 mètres, sont tous recouverts de vase à globigérines.

Dans une note préliminaire sur les fonds recueillis par le « Gauss », M. Philippi[1] fait remarquer que la partie supérieure du boudin du tube sondeur est généralement plus riche en carbonate de chaux que la partie inférieure. Cette différence est faible dans les dépôts à forte teneur en carbonate de chaux, effectués loin des côtes, à des profondeurs moyennes. Dans les sédiments, qui marquent une transition entre la vase à globigérines et l'argile rouge, cette différence est beaucoup plus grande. Dans deux échantillons du

1. Philippi.

« Gauss » provenant du centre de l'Atlantique, près de l'équateur, à l'endroit où arrivent encore les alluvions du Congo et du Niger, la différence est de 40 °/₀. Cet abaissement de la teneur en carbonate de chaux dans la partie inférieure du boudin est encore plus évidente dans certains sédiments subantarctiques, comme le montre un échantillon de la station 88 du « Gauss », (45°15,3′ lat. S., 80°25′ long. E.) par 3644 mètres, où la partie supérieure contenait 60,7 °/₀ de carbonate de chaux, tandis que la partie inférieure n'en contenait que 17 °/₀.

M. Philippi pense qu'il faut admettre dans certains cas qu'une dissolution des sédiments calcaires s'effectue encore en profondeur ; dans d'autres que l'apport des sédiments clastiques était plus fort au temps du dépôt de la partie inférieure du boudin qu'aujourd'hui. Ce savant entrevoit même la possibilité d'homologuer certains dépôts de la partie inférieure du boudin au « Diluvium » dont les matériaux auraient été charriés par les icebergs jusque près de l'équateur. A cette époque les grands fleuves de l'Afrique devaient avoir également un débit beaucoup plus fort qu'aujourd'hui et devaient conséquemment charrier une beaucoup plus grande quantité d'alluvions.

Le géologue du « Gauss » remarque également que dans certains cas les foraminifères de la partie supérieure appartiennent à des espèces tropicales, tandis que ceux de la partie inférieure appartiennent à des espèces des régions tempérées.

Un boudin de la station 29 du « Gauss » (35°52′ lat. S., 13°18′ long. E.), par 4957 mètres, est particulièrement intéressant. La partie supérieure, d'une longueur

de 11 cm., est composée d'un sable fin argilo-calcaire ($CaCO^3 = 22,2$ °/₀), puis dans la partie médiane sur 12 cm. la teneur en carbonate de chaux augmente par le fait d'une plus grande abondance de foraminifères et de coccolithes et s'élève jusqu'à 34,8 °/₀; la partie inférieure sur 40 cm. est complètement dépourvue de calcaire et représente une argile rouge sableuse. Le diamètre moyen des grains de sable est dans cette dernière partie de 0,1 mm. avec un maximum de 0,6 mm. Malgré la grande distance qui sépare cette localité de la côte africaine, il faut admettre un apport de sable du continent, car on croirait se trouver en présence d'un sédiment déposé à moins de 200 mètres de profondeur. Tout apport de sédiments détritiques par des icebergs doit être écarté, les matériaux clastiques de l'océan Antarctique étant beaucoup plus hétérogènes, tandis que l'échantillon en question est presque uniquement composé de grains de quartz.

M. le professeur THOULET [1] signale des intercalations de minces couches de sable dans un grand nombre de boudins de vases à globigérines ramenés par le prince de MONACO de l'archipel des Açores. D'après ce savant la cause de ce phénomène devrait être cherchée dans une action volcanique sous-marine. En effet, dans une éruption sous-marine il se produira un échauffement de l'eau en contact immédiat avec le fond, qui donnera naissance à des courants profonds. Comme le montre M. THOULET, cet échauffement est indiscutable, puisque l'enveloppe goudronnée des câbles sous-marins brisés, traversant les parages de la Martinique,

1. THOULET, 5, p. 131.

a été ramenée fondue. Ces courants profonds produiront des changements brusques dans la nature lithologique du fond. Ils pourront, grâce à leur force, transporter ou mieux pousser devant eux des masses de sédiments sableux voisins de l'orifice; en faiblissant, ils abandonneront ces sables sur le fond. D'autres fois le courant volcanique, au lieu d'apporter lui-même des grains de sable, balayera simplement les « parties fines » du dépôt et ne laissera sur place que les grains de sable. L'éruption terminée, l'accumulation régulière des globigérines continue et recouvre la nappe volcanique.

L'étude des dépôts marins est loin d'être terminée, comme le prouvent les faits d'observation que nous venons de relater.

§ 5. — *La craie et la vase à globigérines.*

La question de l'analogie ou de la différence entre la craie et la vase à globigérines préoccupa beaucoup les géologues français et anglais. Nous ne voulons pas fatiguer le lecteur en refaisant ici l'historique de cette question et nous renvoyons au beau volume de M. Cayeux[1] ceux que cette joute scientifique pourrait intéresser.

Grâce aux patientes et impartiales recherches de ce savant, il est maintenant acquis que la craie n'est pas un dépôt de mer profonde, comme la vase à globigérines.

Les différences qui existent entre la craie et le

1. Cayeux, 2.

limon crayeux actuel, comme certains auteurs appellent la vase à globigérines, sont à étudier au double point de vue minéral et organique.

Les minéraux de la vase à globigérines, comme nous l'avons vu précédemment, ont un diamètre variant de 0,06 à 0,08 mm., la moyenne étant de 0,089 mm. Les dimensions moyennes des minéraux de la craie varient de 0,04 à 0,08, mais il existe des grains dont le diamètre est de plusieurs dixièmes de millimètres.

La vase à globigérines emprunte ses minéraux à l'océan lui-même, c'est-à-dire qu'ils sont le produit de l'activité volcanique sous-marine, tandis que la craie, et c'est là un point capital, *reçoit de la côte ses minéraux non secondaires.*

Une autre différence essentielle existe dans les minéraux formés in situ dans la craie et la vase à globigérines : la phillipsite, minéral dû à l'activité volcanique, est caractéristique des vases de mer profonde, or, ce minéral se rencontre dans les vases à globigérines et fait totalement défaut dans la craie. Le phosphate de chaux est disséminé dans toutes les craies et nous retrouvons les concrétions phosphatées en voie de formation dans les mers actuelles, mais sur les côtes des continents, c'est-à-dire dans les dépôts terrigènes. La glauconie est pour ainsi dire absente des vases à globigérines ; sur 118 échantillons du « Challenger », 13 seulement contiennent ce minéral en proportions très faibles, à l'exception des stations 140 et 166, où l'on approche du continent. Par contre, aucune craie n'en est dépourvue. Les recherches de MM. Collet et Lee sur les concrétions phosphatées et la glauconie des mers actuelles, viennent encore

confirmer les travaux de M. CAYEUX, car, d'après ces auteurs, ces formations sont caractéristiques des dépôts terrigènes.

Etudions maintenant les différences organiques : les résultats de l'étude des profondeurs occupées par les brachiopodes crétacés sont loin d'être favorables à l'idée d'une mer profonde, bien au contraire.

Les bryozoaires crétacés, non éteints actuellement, vivent de préférence à de très faibles profondeurs.

Des mollusques fréquents de la craie, les trois quarts sont représentés actuellement dans la zone bathymétrique qui s'étend de 0 à 274 mètres.

Quant aux échinodermes, les spatangidés de la craie, dit M. CAYEUX, portent avec eux-mêmes la preuve qu'ils n'ont pas vécu dans des eaux aussi profondes que *Pourtalesia*. Un très grand nombre d'Holaster, d'Ananchytes supportent des coquilles parasites, telles que petites Ostrea, Plicatula, bryozoaires encroûtants, etc., qui ne dépassent pas une profondeur de 184 mètres.

Les organismes de la craie qui vivent encore actuellement sont une preuve de plus en faveur d'un sédiment terrigène.

En résumé, nous voyons que la craie est différente de la vase à globigérines tant au point de vue minéral qu'organique. Différences qui peuvent se résumer en un seul et même fait qui est *la différence de profondeur*.

CHAPITRE II

LA VASE A PTÉROPODES

§ 1. — *Caractères généraux.*

Le nom de vase à ptéropodes fut donné par MURRAY, durant l'expédition du « Challenger », à un sédiment formé en majeure partie par des restes calcaires d'hétéropodes et de ptéropodes.

Bien que ces mollusques pélagiques abondent à la surface des eaux dans les régions tropicales et subtropicales, on ne rencontre généralement pas ce sédiment au delà d'une profondeur de 3 000 mètres. Les vases à globigérines, dans les régions tropicales, passent généralement d'une façon graduelle aux vases à ptéropodes entre les limites de 700-3 000 mètres.

Nous avons, dans la distribution bathymétrique de la vase à ptéropodes, un exemple de plus de l'action dissolvante de l'eau de mer. Les coquilles d'hétéropodes et de ptéropodes sont, en effet, très fragiles, beaucoup plus minces que celles des globigérines. Si nous ne rencontrons donc pas ce sédiment en eau très profonde c'est que les coquilles ont été dissoutes durant leur chute de la surface au fond de la mer.

Les principales espèces de ptéropodes et d'hétéropodes que l'on peut rencontrer dans une vase à ptéropodes sont les suivantes :

Ptéropodes.

Limacina inflata, d'Orb.
— triacantha, Fischer.
— helicina, Phipps.

Limacina antarctica, Woodward.
— helicoides, Jeffreys.
— Lesueuri, d'Orb.
— australis, Eydoux et Souleyet.
— retroversa, Fleming.
— trochiformis, d'Orb.
— bulimoides, —
Peraclis reticulata, —
— bispinosa, Pelseneer.
Clio virgula, Rang.
— conica, Eschscholtz.
— acicula, Rang.
— Chierchiae, Boas.
— striata, Rang.
— subula, Quoy et Gaimard.
— Andreae, Boas.
— polita, Craven.
— balantium, Rang.
— Chaptali, Souleyet.
— australis, d'Orb.
— sulcata, Pfeffer.
— pyramidata, Linné.
— cuspidata, Bosc.
Cuvierina columnella, Rang.
Cavolinia trispinosa, Lesueur.
— quadridentata, —
— longirostris, —
— globulosa, Rang.
— gibbosa, —
— tridentata, Forskal.
— uncinata, Rang.
— inflexa, Lesueur.

Hétéropodes.

Carinaria cristata, Linné.
— fragilis, Saint-Vincent.
— Lamarki, Péron et Lesueur.
— depressa, Rang.
— australis, Quoy et Gaimard.
— galea, Benson.
— cithara, Benson.
— punctata, d'Orb.
— Gaudichaudi, Eydoux et Souleyet.
— atlantica, Adams et Reeve.
— cornucopia, Gould.
Atlanta Peroni, Lesueur.
— turriculata, d'Orb.
— Lesueuri, Eydoux et Souleyet.
— involuta, —
— inflata, —
— inclinata, —
— helicinoides, —
— gibbosa, —
— Gaudichaudi, —
— fusca, —
— depressa, —
— rosea, —
— quoyana, —
— mediterranea, Costa.
— violacea, Gould.
— tessellata, —
— primitia, —
— cunicula, —
— Souleyeti, Smith.
Oxygyrus Keraudreni, Lesueur.
— Rangi, Eydoux et Souleyet.

A côté de ces différentes espèces de ptéropodes et d'hétéropodes nous trouvons des restes d'organismes calcaires, qui font défaut dans les vases à globigérines, situées en eau profonde, tels que fragments de coquilles d'*Icanthina* (gastéropode larvaire) et de *Candeina nitida*, foraminifère à coquille très mince.

La vase à ptéropodes se présente sous deux aspects totalement différents, suivant qu'elle s'est accumulée dans une région océanique ou près de la côte. Dans le premier cas elle ressemble à une vase à globigérines par ses minéraux, dans le second elle se rapproche d'un sédiment terrigène où abondent les fragments de minéraux et les débris de roches volcaniques et coralliennes.

La vase à ptéropodes est beaucoup plus granuleuse que la vase à globigérines, ce fait étant causé par la présence des coquilles de ptéropodes et d'hétéropodes, plus grandes que les coquilles de foraminifères.

Les échantillons du « Challenger » se groupent entre les profondeurs de 700 à 2 750 mètres, la moyenne étant de 1 850 mètres.

La teneur en « carbonate de chaux » varie de 52,22 °/₀ à 98,47 °/₀, donnant une moyenne de 79,25 °/₀.

Le « résidu » laissé après élimination du carbonate de chaux, d'une couleur brune, se monte en moyenne à 20,75 °/₀.

Les restes d'organismes siliceux forment de 1 à 20 pour 100 du poids total de l'échantillon, la moyenne n'étant que de 2,89 °/₀. Ils sont formés par des spicules de spongiaires, des radiolaires, des diatomées, des moules de foraminifères et des foraminifères arénacés.

La teneur en particules minérales varie de 1 à 10 °/₀, la moyenne étant de 2,85 °/₀. Le diamètre varie de 0,10 mm. à 0,06 mm. et est en moyenne de 0,08 mm.

Les « parties fines » font presque totalement défaut dans certains échantillons, tandis que dans d'autres elles peuvent former jusqu'à 41,78 pour 100 de son poids total.

Le tableau suivant donne une idée de la différence qui existe entre la vase à ptéropodes et la vase à globigérines.

		VASE A ptéropodes		VASE A globigérines	
Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	47.15		53.10	
	— benthiques	3.15		2.13	
	Autres organismes	28.95		9.24	
			79.25		64.47
Résidu	Organismes siliceux	2.89		1.64	
	Minéraux	2.85		3.33	
	Parties fines	15.01		30.56	
			20.75		35.53
			100.00		100.00

La forte teneur en carbonate de chaux, dans la vase à ptéropodes, provient de la présence de ces organismes (28,95 °/₀ contre 9,24 °/₀ dans la vase à globigérines). Le « résidu » de la vase à globigérines est plus élevé que celui de la vase à ptéropodes.

§ 2. — *Composition chimique*

L'analyse suivante, donnée par Murray et Renard, d'un échantillon de vase à ptéropodes, récolté par le « Challenger » à la station 22 par 2 597 mètres de

profondeur, donne une idée de la composition de ce dépôt.

Soluble dans HCl.	Perte au feu	3,80
	SiO^2	4,14
	Al^2O . . . Fe^2O^3. . .	4,42
	$CaCO^3$	80,69
	$CaSO^4$	0,41
	$(PO^4)^2Ca_3$	2,41
	$MgCO^2$	0,68
	Insoluble	3,45
		100,00

En comparant ces résultats à ceux des analyses de certaines vases à globigérines nous remarquons ici une forte augmentation en carbonate de chaux provenant, comme nous l'avons déjà vu, de la présence des coquilles de ptéropodes et d'hétéropodes. La faible teneur en silice, fer et alumine prouve le peu d'importance de la matière argileuse dans ce dépôt. La perte au feu paraît donc devoir être attribuée à la matière organique qui, souvent, remplit encore les coquilles des organismes qui forment le dépôt.

Murray et Renard, à part le carbonate de chaux, ne reconnurent dans les coquilles de *Cavolinia*, récoltées à la surface, que des traces de fer et de matière organique.

En résumé nous pouvons dire qu'une vase à ptéropodes se différencie en général d'une vase à globigérine par une plus forte teneur en carbonate de chaux, due à la présence même des coquilles d'hétéropodes et de ptéropodes.

§ 3. — *Distribution*

Durant sa croisière le « Challenger » ne rencontra des vases à ptéropodes que dans l'Atlantique où ce sédiment recouvre généralement les barrières sous-marines. MURRAY et RENARD, dans les Reports du « Challenger », pensent que ce sédiment doit également se trouver sur les barrières sous-marines du Pacifique. Cette manière de voir fut confirmée récemment par les résultats de l'étude des matériaux collectés par le S. S. « Britannia » dans le Pacifique. Une aire assez considérable est occupée par ce sédiment, sur le bord de la grande barrière corallienne du Queensland. On trouve encore ce dépôt couronnant des élévations sous-marines, comme les « Britannia hills », le « Balfour Shoal » et d'autres situées sous les mers comprises entre l'Australie et la Nouvelle-Zélande d'une part et les îles du groupe de l'Ellice et de l'Union d'autre part. Autour des Paumotu et des Marquises on rencontre également de la vase à ptéropodes. Le 1 °/₀ seulement de la surface du fond du Pacifique est recouvert de vase à ptéropodes et les 18 °/₀ seulement par de la vase à globigérines.

Dans l'Atlantique nord, on rencontre de la vase à ptéropodes au large des îles Bermudes, sur le banc des Açores et à deux localités plus au nord où existent deux élévations sous-marines recouvertes par 2 195 et 2 578 mètres d'eau.

Dans l'Atlantique sud, ce sédiment n'a pas été rencontré jusqu'ici, tandis que dans la région équatoriale de cet océan ce dépôt occupe une aire assez étendue par environ 15° de Lat. S. et 15° de Long. W. et une

autre entre Cuba, Haïti et la Jamaïque, soit dans le détroit de Windward.

CHAPITRE III

LA VASE A RADIOLAIRES

§ 1. — *Caractères généraux.*

Ce sédiment est confiné aux grandes profondeurs des océans et la profondeur moyenne à laquelle on le trouve est, d'après MURRAY ET RENARD, plus grande que celle de l'argile rouge. Durant l'expédition du « Challenger », MURRAY donna le nom de vase à ra-

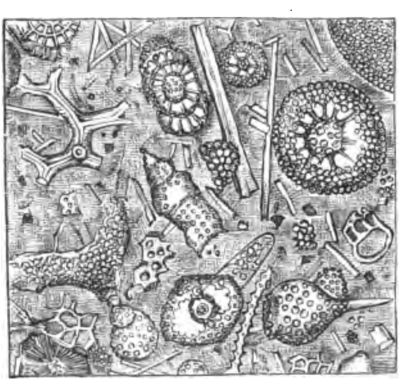


Fig. 6. — Vase à Radiolaires. Pacifique central. 8184 mètres. « Challenger » (D'après Ency. Brit. 9 ed.)

diolaires au dépôt qui, ressemblant à l'argile rouge, s'en distinguait pourtant par une beaucoup plus grande quantité de restes de radiolaires, de spicules

de spongiaires et de frustules de diatomées. Sa couleur est rouge, brune ou quelquefois jaunâtre. Elle est moins plastique que l'argile rouge et contient toujours des grains de manganèse, des fragments de ponce, de l'augite, des feldspaths, de la hornblende, de la magnétite, de la palagonite, des chondres et des sphérules cosmiques. On rencontre également associés à ce sédiment, tout comme dans l'argile rouge, des nodules de manganèse et des dents de squales. Les organismes vivant à la surface de la vase à radiolaires sont identiques à ceux vivant à la surface de l'argile rouge.

L'échantillon le plus pur de ce dépôt fut recueilli par le « Challenger » dans le nord-ouest du Pacifique, alors qu'il obtenait son plus profond coup de sonde entre la Nouvelle Guinée et le Japon. Cet échantillon contenait 80 °/₀, du poids total, de restes d'organismes siliceux. Les échantillons provenant d'autres régions, moins profondes, du Pacifique et de l'océan Indien, ne sont pas aussi purs.

Murray et Renard entendent par vase à radiolaires toute argile rouge contenant au moins 20 °/₀ de ces organismes. Tout comme les foraminifères, les radiolaires subissent une action dissolvante durant leur descente de la surface au fond de la mer, comme le montrent les squelettes et spicules souvent considérablement altérés.

La vase à radiolaires fut rencontrée par le « Challenger », de la profondeur de 4 298 mètres à celle de 8 184 mètres, la moyenne étant de 5 293 mètres, tandis que, d'après Murray et Renard, la profondeur moyenne de l'argile rouge ne serait que de

4 993 mètres. Ce dernier chiffre, d'après les résultats des dernières expéditions, est de 5 400 mètres.

La composition chimique de la vase à radiolaires varie beaucoup. Dans certains cas elle contient si peu de carbonate de chaux, qu'elle fait à peine effervescence à l'acide, dans d'autres sa teneur s'élève jusqu'à 20 °/₀. Les restes d'organismes calcaires appartiennent aux foraminifères pélagiques excepté quelques coquilles de rotalidés et de nummulitidés qui sont benthiques. On rencontre également, mais jamais en grande abondance, des dents de poissons, des otolithes, des coquilles d'ostracodes, des fragments d'échinodermes, des coquilles de gastéropodes et des coccolithes.

Le « résidu », après élimination du carbonate de chaux par l'acide chlorhydrique dilué, de couleur rouge ou brune, représente, suivant les cas, de 80 à 100 °/₀ du poids total d'un échantillon ; la moyenne étant de 95,99 °/₀. Ce « résidu » est composé de 30 à 80 °/₀ de restes d'organismes siliceux parmi lesquels les restes de radiolaires prédominent. Les fragments de minéraux ont un diamètre moyen de 0,02 mm. ; ils sont tous anguleux et représentent de 1 à 5 °/₀ du poids total du spécimen.

Les « parties fines » varient de 17 à 67 °/₀, avec une moyenne de 39,88 °/₀. Elles sont presque entièrement formées par des fragments microscopiques d'organismes siliceux.

Le tableau suivant montre la composition moyenne des échantillons de vase à radiolaires du « Challenger » :

Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	3,11	
	— benthiques	0,11	
	Autres organismes . . .	0,79	4,01
Résidu	Organismes siliceux . .	54,44	
	Minéraux	1,67	
	Parties fines	39,88	95,99
			100,00

En comparant ces chiffres à ceux qui représentent la composition moyenne de l'argile rouge, on remarque que la différence qui existe entre ces deux sédiments provient de la forte teneur en organismes siliceux de la vase à radiolaires.

§ 2. — *Composition chimique.*

Les analyses suivantes, d'échantillons du « Challenger », donnent une idée de la composition chimique de la vase à radiolaires :

		Station 265 « Challenger » Profondeur : 5304 mètres		Station 274 « Challenger » Profondeur : 5030 mètres	
	Perte au feu		4,30		7,41
Soluble dans HCl.	SiO^2	38,75		46,50	
	Al^2O^3	6,75		8,32	
	Fe^2O^3	11,20		14,24	
	MnO^2	0,57		3,23	
	$CaCO^3$	2,54		3,89	
	$CaSO^4$	0,29		0,41	
	$(PO^4)^2Ca^3$	0,65		1,39	
	$MgCO^3$	2,46	63,21	1,50	79,48
Insoluble	SiO^2	21,02		9,52	
	Al^2O^3	6,19		2,20	
	Fe^2O^3	3,09		0,75	
	CaO	1,85		0,39	
	MgO	0,34	32,49	1,25	13,11
			100,00		100,00

Si l'on compare ces résultats à ceux des analyses d'argile rouge on remarque que la teneur en silice soluble est plus forte dans la vase à radiolaires. Il n'y a là rien d'étonnant, car les organismes siliceux sont formés de silice hydratée amorphe, facilement attaquable aux acides. La teneur en alumine et en fer indique une forte proportion d'argile et de limonite. La faible teneur en carbonate de chaux est due au fait que ces sédiments proviennent des grandes profondeurs qu'atteignent rarement les coquilles d'organismes calcaires.

§ 3. — *Distribution.*

La vase à radiolaires ne se rencontre que dans le Pacifique et l'océan Indien. L'absence totale de ce sédiment dans l'océan Atlantique nord proviendrait, selon Sir John Murray[1], du fait qu'il se dépose, dans cette région, une grande quantité de matières détritiques. La présence de grande quantité d'eau chaude et de forte salinité expliquerait, d'un autre côté, d'après ce savant, l'absence totale de ce sédiment dans les parties centrales de l'Atlantique.

La vase à radiolaires occupe les 8 °/₀ de la surface totale du fond du Pacifique. On rencontre ce sédiment[2] sur une longue bande qui s'étend du golfe de Panama et des côtes de l'Amérique centrale, entre 5° de lat. S. et 15° de lat. N., jusque par 165° de longitude W. Une grande aire se trouve autour des îles

1. Murray, **26**, p. 20.
2. Murray, **25**, p. 8.

Phœnix et de l'Union et une autre un peu plus à l'Est. Une petite surface apparaît encore par 36°-39° de lat. N. et 136°-178° de long. W.

Il est à remarquer qu'aucun échantillon de vase à radiolaires n'a été rencontré par le « Nero », entre les îles Hawaï et les Philippines. Les sédiments des grandes profondeurs, contre toute attente, jusqu'à 9 329 mètres appartiennent à l'argile rouge.

§ 4. — *Couches à radiolaires des assises sédimentaires.*

M. le professeur Steinmann[1], contrairement à l'opinion de Sir John Murray et de Sir Archibald Geikie, voit dans les couches à radiolaires des Alpes des formations abyssales qu'il assimile aux vases à radiolaires des mers actuelles.

Cette assertion, grosse de conséquences, demande à être prouvée d'une manière détaillée, en raison même de son importance. Avant qu'une étude comparative, très serrée, des couches à radiolaires et des vases abyssales actuelles ait été faite, il nous paraît téméraire de faire de tels rapprochements. Il ne faut pas oublier que les radiolaires se rencontrent, en plus ou moins grande quantité, dans tous les sédiments marins. Tout comme dans la question de l'identification de la craie avec la vase à globigérines, c'est le diamètre des minéraux principalement qui permettra de trancher la question.

1. Steinmann, p. 51.

CHAPITRE IV

L'ARGILE ROUGE

L'argile rouge fut rencontrée, pour la première fois, par les naturalistes du « Challenger », entre l'île de Ténérife et celle de Sombrero, par 5 011 mètres de profondeur.

A la fin de l'expédition on reconnut que ce sédiment occupait les abysses de l'océan, éloignés de la terre ferme.

Les savants anglais virent tout d'abord en ce sédiment les dernières particules de la désagrégation des continents qui, grâce à leur finesse, auraient été entraînées par les courants marins et distribuées sur le fond des océans à des distances immenses de la terre.

Wyville Thomson et Huxley envisagèrent même l'argile rouge comme une sorte de cendre ou résidu d'une vase à globigérines, dont le carbonate de chaux aurait été dissous. Ils abandonnèrent bientôt cette théorie basée sur l'idée fausse que les coquilles calcaires contenaient du silicate d'alumine.

C'est à Murray que revient l'honneur d'avoir donné, en 1877, l'explication de la formation de l'argile rouge, en voyant dans ce sédiment le résultat de la décomposition de roches de différente constitution qui recouvrent le fond des océans et qui, pour la plupart, proviennent de volcans sous-marins.

§ 1. — *Caractères généraux.*

Le nom même d'argile rouge (Red Clay des Anglais) indique la nature et l'apparence de ce sédiment.

Bien qu'on rencontre de grandes différences dans les échantillons, le silicate hydraté d'alumine n'en forme

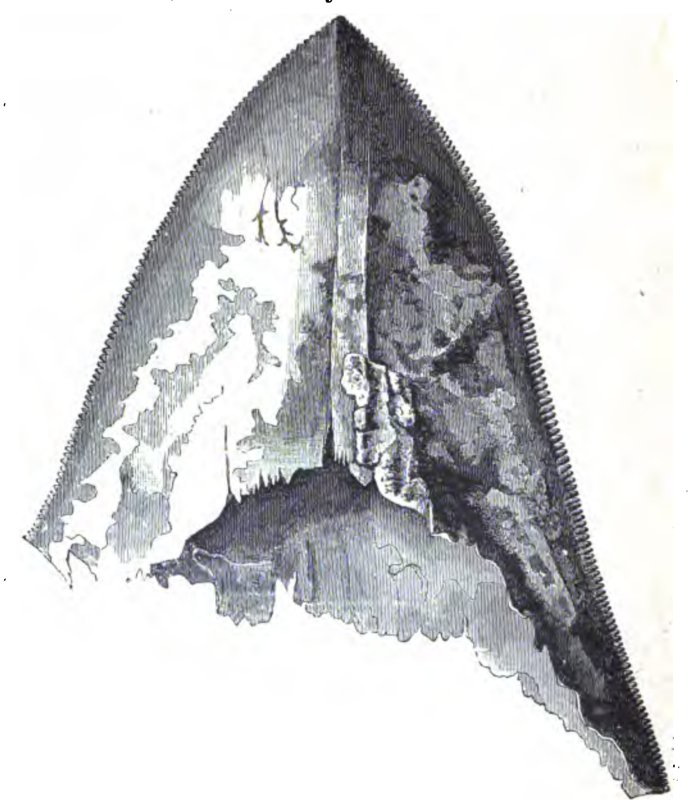


Fig. 7. — Dent de *Carcharodon megalodon*, grandeur naturelle. Pacifique Sud, 4363 mètres « Challenger » (D'après MURRAY et RENARD).

pas moins l'élément principal et donne à ce dépôt son caractère plus ou moins argileux.

Dans l'Atlantique nord ce sédiment est d'une couleur rouge-brique due d'une part au peroxyde de fer intimement mêlé à l'argile et d'autre part à l'enduit de palagonite, de couleur rouge, qui recouvre certaines particules minérales. Dans le Pacifique sud, ainsi que dans l'océan Indien, il possède une couleur brun chocolat causée par une quantité de petits grains de manganèse.

Dans une note sur les résultats préliminaires de l'expédition du « Challenger », on trouve la description d'un fond marin que THOMSON et MURRAY appelèrent « Vase grise » (Grey Ooze) et qui n'était autre que de l'argile rouge colorée en gris par une certaine quantité de coquilles blanches de globigérines. En effet, le carbonate de chaux ayant été éliminé par l'acide chlorhydrique, il resta un résidu rougeâtre en tous points semblable à l'argile rouge. MURRAY et RENARD, plus tard, abandonnèrent le nom de « Vase grise » pour ne garder que celui d'argile rouge.

Le tube sondeur pénétra souvent assez profondément dans la vase (60 cm.) pour qu'il fût permis de constater que la couche la plus profonde était de beaucoup la plus compacte. Dans certains cas, la composition chimique et la couleur varient dans les différentes parties du boudin.

L'argile rouge est tendre, plastique, d'un toucher gras et happe à la langue. Comme toutes les argiles contenant du fer, la couleur rouge augmente d'intensité après calcination. Elle sèche en une masse compacte, dure, qu'on ne peut casser qu'au marteau. Met-on un morceau sec dans l'eau, il se désagrège comme les argiles communes.

Au chalumeau, l'argile rouge se transforme en une masse noire souvent magnétique et se comportant tout comme la variété d'argile connue sous le nom de « boue feldspathique » (feldspatic mud). Cette propriété magnétique peut être attribuée aux petites particules d'origine volcanique toujours présentes en plus ou moins grande quantité dans ce sédiment.

En général l'argile rouge, examinée en petite quantité, possède une apparence homogène, bien qu'elle renferme très souvent des grains d'oxyde de manganèse, des cristaux de zéolithes, des petits fragments de ponce et de roches volcaniques qui, s'ils ne sont pas visibles à l'œil nu, se reconnaissent au toucher lorsqu'on pétrit l'argile avec les doigts. Examinée en grande quantité, elle cesse d'être homogène, car en de nombreuses localités, comme dans le Pacifique austral, nous trouvons des milliers de dents de squales, des os tympaniques de cétacés, des fragments de ponce et de roches volcaniques ainsi que des nodules de manganèse.

Entre Tahiti et Valparaiso le « Challenger » rencontra par 4362 mètres de fond une argile rouge dont la surface était recouverte d'une mince couche de cendres volcaniques.

§ 2. — *Composition minéralogique.*

La base de l'argile rouge est le silicate hydraté d'alumine ($2SiO^2$, $Al^2O^3 + 2H^2O$) composé de particules amorphes incolores. Comme dans toutes les argiles, ce silicate est rendu impur par l'apport d'une quantité de matières étrangères provenant de la décomposition des roches volcaniques, sur le fond même de la

mer. Il est assez rare que le silicate hydraté d'alumine forme plus de la moitié du poids total des échantillons les plus purs d'argile rouge.

Les échantillons de ce sédiment qui proviennent des plus grandes profondeurs ne contiennent généralement aucune trace de carbonate de chaux, tandis que ceux provenant de la même région mais de profondeurs moins grandes peuvent contenir jusqu'à 20 °/₀ de carbonate de chaux consistant, d'une part, en coquilles d'organismes vivant à la surface, comme les foraminifères (*Globigerina*, *Pulvinulina*, *Sphaeroidina* et *Pullenia*), d'autre part, en coquilles d'organismes benthiques comme les foraminifères des genres *Miliolina* et *Textularia*.

Il est excessivement rare de rencontrer dans une véritable argile rouge des coquilles de ptéropodes, d'hétéropodes ainsi que des coccosphères.

Les chiffres suivants montrent la relation existant entre la profondeur et la teneur en carbonate de chaux, dans les échantillons d'argile rouge du « Challenger ».

								CO^3Ca
18	échantillons de	3600	mètres	à	4500	mètres contiennent	en moyenne	8,39 °/₀
42	—	4500		à	5500	—	—	7,16 °/₀
7	—	5500		à	6400	—	—	0,88 °/₀

Les restes d'organismes planktoniques siliceux sont largement répandus dans l'argile rouge, bien qu'en certains cas ils en soient totalement absents. Quand les restes de radiolaires forment une partie considérable du dépôt, comme dans certaines régions tropicales du Pacifique et de l'océan Indien, l'argile rouge passe alors graduellement à un sédiment dénommé par Murray et Renard : vase à radiolaires. De même,

lorsque dans l'océan Antarctique les restes de diatomées augmentent considérablement, l'argile rouge passe à une vase à diatomées puis, la profondeur et la distance à la côte diminuant, ce dernier sédiment passe à une vase à globigérines ou à une boue bleue.

Quand il n'y a pas trace de carbonate de chaux dans un échantillon d'argile rouge ou que ce carbonate a été éliminé par l'acide chlorhydrique, le dépôt ou le résidu de ce dépôt contient, à côté du silicate hydraté d'alumine et des restes d'organismes siliceux dont nous avons parlé plus haut, une certaine quantité d'éléments inorganiques, de nature diverse, provenant de sources différentes. Le plus commun de ces éléments est la pierre ponce appartenant aux différents types de roches volcaniques. De dimensions variant de la tête d'un homme à celle des plus petites particules minérales, ces ponces se rencontrent à différents états de décomposition et sont souvent complètement recouvertes par un dépôt concentrique d'oxydes hydratés de fer et de manganèse. Tous les minéraux constituants des différentes espèces de ponces se rencontrent dans le sédiment.

La palagonite, qui dérive des produits de décomposition des verres basiques, est également généralement distribuée dans l'argile rouge.

Les peroxydes de fer et de manganèse se rencontrent à l'état de granules ou d'enduit. Suivant que l'un de ces peroxydes prédomine la couleur du sédiment sera rouge ou brune. Lorsque ces oxydes se sont déposés autour de restes organiques, comme les dents de poissons ou les os tympaniques de cétacés, ou bien autour d'autres nuclei tels que fragments de pierre ponce

et de roches volcaniques, nous avons formation de nodules de manganèse dont nous parlerons dans un chapitre spécial.

De petites sphérules magnétiques, d'origine cos-

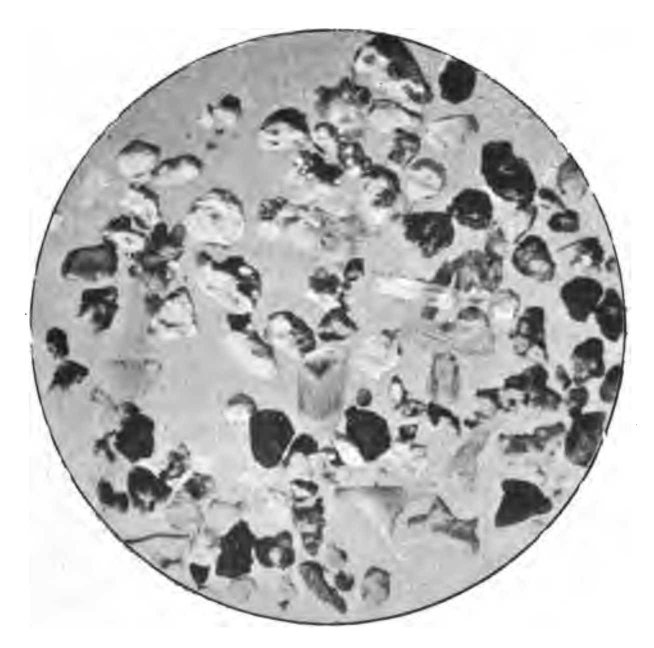


Fig. 8. — Les différents constituants d'une argile rouge du Pacifique : nodules de manganèse, fragments de verre volcanique, cristaux de phillipsite. 5937 mètres. « Nero ». $\frac{18}{1}$.

(D'après J.-M. Flint)

mique, sont très répandues, surtout dans l'argile rouge.

A côté de ces constituants caractéristiques de ce

sédiment, il s'en trouve d'autres qui sont exceptionnels ou accidentels. Ce sont des poussières terrestres, des cendres volcaniques, transportées par les vents jusque dans les régions où s'accumule l'argile rouge, ainsi que des fragments de roches des terres arctiques et antarctiques, transportés par les icebergs.

Parmi les produits secondaires de la décomposition des verres basiques, nous trouvons dans l'argile rouge des cristaux de zéolithes ressemblant à la phillipsite.

Sur 70 échantillons du « Challenger » les minéraux, toujours anguleux, représentent en moyenne les 5,56 °/₀ du sédiment. Leur diamètre moyen est de 0,08 mm. Ils appartiennent aux espèces suivantes: magnétite (dans 62 échantillons), grains d'oxyde de manganèse (55), feldspaths (53), particules volcaniques vitreuses (45), augite (43), ponce (34), nodules de manganèse (32), grains de ponces (31), hornblende (31), palagonite (22), quartz (21), plagioclases (20), mica (19), phillipsite et autres zéolithes (10), sphérules cosmiques (8), sanidine (7), glauconie (6), olivine (5), lapilli (5), fragments de roches (5), zircon (3), tourmaline (3), épidote (2), grenat (1).

Des dents de squales furent recueillies 11 fois et des os tympaniques de cétacés à 6 stations différentes.

La teneur moyenne en « parties fines » est de 85,35 °/₀. Les chiffres ci-dessous montrent la relation qui existe entre la profondeur, et la teneur en « parties fines » :

							Parties fines
18	échantillons	de 3600	mètres	à 4500	mètres	contiennent en moyenne	80,44 °/₀.
42	—	4500	—	à 5500	—	—	85,80 °/₀.
7	—	5500	—	à 6400	—	—	95,28 °/₀.

Ainsi, la teneur en « parties fines » augmente avec

la profondeur tandis que celle en carbonate de chaux diminue jusqu'à être nulle.

Le tableau suivant montre la composition moyenne des échantillons du « Challenger » :

Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	4,77	
	— benthiques	0,59	
	Autres organismes . .	1,34	6,70
Résidu	Organismes siliceux . .	2,39	
	Minéraux	5,56	
	Parties fines	85,35	93,30
			100,00

Les études, faites au « Challenger Office », à Edimbourg, de vases collectées par d'autres expéditions confirmèrent les données du « Challenger ».

§ 3. — *Composition chimique*[1]

Il est presque inutile de rappeler ici la difficulté de tirer des conclusions des résultats d'analyses quantitatives de substances mélangées, de minéraux décomposés, ainsi que de particules minérales amorphes que l'on rencontre dans les dépôts marins. Néanmoins en comparant attentivement les résultats fournis par les études macroscopiques et microscopiques à ceux de l'analyse quantitative, on peut arriver à tirer quelques conclusions.

Nous donnons ci-dessous les résultats de l'analyse de deux types extrêmes d'argile rouge. Le professeur BRAZIER, qui fit ces analyses, opéra comme suit : Le

1. Voir chapitre « Addenda », p. 303.

sédiment fut traité par l'acide chlorhydrique, évaporé à sec puis redissous. Le résidu ainsi obtenu fut traité par la potasse caustique bouillante, repris par l'eau et le filtrat ajouté à la dissolution chlorhydrique. Le résidu insoluble final fut alors désagrégé comme un silicate ordinaire. Toute la matière argileuse passait ainsi dans la solution chlorhydrique.

		I. Station 19. « Challenger » Profondeur : 5487 mètres		II. Station 241. « Challenger » Profondeur : 4207 mètres	
	Perte au feu		7,44		4,30
Soluble dans HCl.	SiO^2	27,68	56,47	26,00	62,20
	Al^2O^3	12,91		6,00	
	Fe^2O^3	10,33		2,91	
	MnO^2	—		1,14	
	$CaCO^3$	1,49		22,63	
	$CaSO^4$	0,96		0,49	
	$(PO^4)^2Ca^3$	tr.		2,09	
	$MgCO^3$	3,10		0,94	
Insoluble.	SiO^2	25,16	36,09	23,40	33,50
	Al^2O^3	7,81		5,30	
	Fe^2O^3	1,57		2,20	
	CaO	1,03		2,20	
	MgO	0,52		0,40	
			100,00		100,00

Prenons comme point de départ la formule Al^2O^3, $2SiO^2$,$2H^2O$ qui est celle de l'argile pure et considérons maintenant la partie soluble de l'échantillon de 5487 m. échantillon d'entre ceux du « Challenger » dont la teneur en silicate d'alumine est la plus forte. Si les 12,91 °/₀ d'alumine sont entièrement combinés à de la silice pour former de l'argile, la silice, dans la partie soluble, se trouve en excès de 6,81 °/₀. Cet excès de silice provient de restes d'organismes tels que diato-

mées, radiolaires, spongiaires et probablement d'acide silicique présent dans la vase sous forme hydratée ou colloïde, car nous ne devons pas oublier que l'argile rouge est toujours en voie de formation. Ce fort excès peut également provenir en partie de l'attaque de certains minéraux par l'acide chlorhydrique, comme les zéolithes et les roches volcaniques en décomposition. Une première partie de la perte au feu représente l'eau de constitution de l'argile, une seconde partie appartient aux oxydes hydratés de fer et à la palagonite, la dernière partie provient de matières organiques toujours présentes dans le sédiment.

Dans la généralité des analyses du « Challenger », la teneur en fer est supérieure à celle en alumine, ce qui prouve une argile ferrugineuse. L'hydrate de fer est le pigment qui colore le sédiment en rouge dans l'Atlantique ; les oxydes hydratés de manganèse mélangés aux hydrates de fer donnent, aux dépôts du Pacifique et de l'océan Indien, une couleur brune.

La teneur en carbonate de chaux, comparée à celle des autres vases, est généralement réduite à un minimum. Dans l'analyse n° I, cette teneur n'atteint que 1,49 °/₀ tandis que dans l'analyse n° II, elle se monte à 22,63 °/₀ et est un maximum. Le carbonate de magnésie, généralement présent, ne dépasse pas 3,24 °/₀. Murray et Renard pensent que ce sel est le produit d'une double décomposition du sulfate de magnésie, en solution dans l'eau de mer, par le carbonate de chaux provenant de la dissolution des restes d'organismes calcaires. Il nous paraît plus vraisemblable d'envisager le carbonate de magnésie présent dans l'argile rouge, le sachant moins soluble que le carbo-

nate de chaux, comme un résidu insoluble de la dissolution des coquilles calcaires tombées de la surface sur le fond de la mer. Cette manière de voir est confirmée par l'augmentation de la teneur en carbonate de magnésie des vases à globigérines au fur et à mesure que la profondeur augmente et que par conséquent la teneur en calcaire diminue.

Le sulfate de chaux est présent dans toutes les analyses d'argile rouge et provient sans aucun doute de l'eau de mer qui imprègne le sédiment. Il est, pour ainsi dire, impossible d'éliminer des sédiments certains corps, dus à la présence de l'eau de mer, et cela même après lavages répétés.

Le phosphate de chaux généralement présent est dû à la décomposition des dents de poissons et des os de cétacés.

Le manganèse est l'un des éléments les plus constants de l'argile rouge, bien que certaines analyses quantitatives n'en renferment pas, le n° I par exemple. Nous aurons l'occasion de revenir, dans un chapitre spécial, sur les dépôts d'oxydes de manganèse. Les oxydes hydratés de fer et de manganèse sont généralement accompagnés, comme le montrent les analyses du Dr Gibson[1], par du nickel, du cobalt et du baryum.

Jetons maintenant un coup d'œil sur le résidu insoluble. Dans certains cas, l'analyse n° I, par exemple, la silice est en excès sur les bases. Il est impossible d'expliquer cet excès au moyen des restes d'organismes siliceux, car ces derniers ne résistent pas à l'attaque

1. Murray, 13, appendix II.

par la potasse caustique. Il faut donc admettre la présence de grains de quartz qui normalement font défaut dans l'argile rouge. Ils peuvent provenir du continent et avoir été amenés dans les régions de l'argile rouge, soit par les courants atmosphériques, soit par les glaces flottantes.

§ 4. — *Distribution.*

C'est dans le Pacifique que ce sédiment occupe la plus grande étendue, couvrant les 58 % du fond de cet océan.

Dans le Pacifique nord, l'argile rouge s'étend des côtes de l'Amérique du Nord jusqu'à celles du Japon et des Philippines. Par environ 50° de Lat. Nord, elle est séparée des boues bleues par une étroite bande de vase à diatomées.

Dans le Pacifique sud, nous rencontrons l'argile rouge des côtes de l'Amérique du Sud jusqu'à la bordure orientale de la chaîne volcanique qui passe par les Samoa, les Tonga et l'île de Kermadec. Ce sédiment se rencontre encore entre la Tasmanie et la Nouvelle-Zélande, entre les îles Fidjis, Kermadec, Norfolk et la Nouvelle-Calédonie, et à l'ouest des Nouvelles Hébrides.

L'argile rouge du Pacifique sud est séparée de celle du Pacifique nord par une bande de vase à radiolaires qui s'étend au travers du Pacifique, entre environ 10° de Lat. S. et 10° de Lat. N.

Si nous envisageons la vase à radiolaires comme une variété d'argile rouge, nous pouvons dire que ce dernier sédiment s'étend du nord au sud, dans le Pacifique, sur une longueur de 100° de latitude.

Dans l'océan Indien, grâce aux sondages du capitaine Aldrich du H. M. S. « Egeria », nous savons que l'on rencontre ce sédiment, par environ 20° de Lat. S. entre 70 et 90° de Long. E.

Dans l'océan Atlantique, l'argile rouge est très peu développée, en raison même de la profondeur de cet océan, de beaucoup inférieure à celle du Pacifique. Dans l'Atlantique nord, nous trouvons de l'argile rouge, en eau très profonde, autour des Bermudes. Cette aire s'étend au sud jusqu'aux Antilles. On a recueilli ce sédiment également, dans une aire isolée au milieu de la vase à globigérines, par environ 20° de Lat. Nord et 30° de Long. W. Dans l'Atlantique sud, l'argile rouge a été rencontrée dans trois aires distinctes : au nord des îles Falkland, au large du Brésil et à l'ouest de l'Agulhas Bank. Dans l'Atlantique, l'argile rouge n'occupe qu'environ les 15 °/₀ du fond de la mer.

CHAPITRE V

LA VASE A DIATOMÉES

§ 1. — *Caractères généraux.*

Comme Murray appela « vase à radiolaires », un sédiment formé en majeure partie de squelettes de ces rhizopodes siliceux, de même, il comprit sous le nom de « vase à diatomées » le fond marin dont les frustules de ces algues siliceuses forment la partie essentielle.

Ce fut Hooker, naturaliste à bord de l'expédition

antarctique de J. Clark Ross, de 1839-1843, qui le premier signala les diatomées dans les eaux de surface, et cela entre 50° et 70° de latitude S. La véritable « vase à diatomées » fut rencontrée pour la première fois par le « Challenger », entre les îles Kerguelen et la « Ice Barrier » du continent antarctique.

Humide, ce sédiment est d'une couleur jaune paille ou crème ; sec, il est presque blanc et ressemble à de l'amiante. Près du continent, il a quelquefois une couleur bleuâtre, due à la présence de matériaux terrigènes. Les échantillons typiques de vase à diatomées ressemblent beaucoup à la diatomite, dépôt d'eau douce.

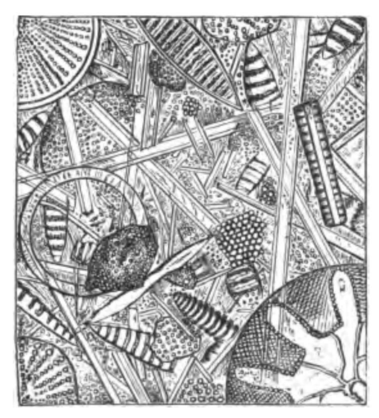


Fig. 9. — Vase à Diatomées. Océan Antarctique. 3475 mètres. (D'après Ency. Brit. 9 ed.)

Le carbonate de chaux dans une vase à diatomées varie de 3 °/₀ à 30 °/₀, et consiste principalement en coquilles de globigérines et quelques représentants de mollusques, polyzoaires, échinodermes, ostracodes, etc. Les échantillons du « Challenger » furent recueillis à des profondeurs variant de 1 000 à 3 612 mètres, la moyenne étant de 2 700 mètres.

La partie principale de ce sédiment est formée de frustules de diatomées appartenant à différents genres ;

on y rencontre également des restes de radiolaires, ainsi que des spicules d'éponges. Les organismes siliceux forment de 20 °/₀ à 60 °/₀ du dépôt, la moyenne étant de 41 °/₀, sans compter les « parties fines » qui représentent des particules microscopiques de ces organismes siliceux.

La liste suivante renferme les principales espèces de diatomées d'une vase typique récoltée par le « Challenger » dans les régions antarctiques par 3 567 mètres de profondeur.

Navicula subtilis, Greg.
Thalassiothrix longissima, var. antarctica, Cl. et Grun.
Synedra lanceolata, Cstr.
— nitzschioides, Grun.
— filiformis, Grun.
Thalassionema nitzschioides, var. lanceolata, Grun.
Trachysphenia australis, Petit, var. antarctica, Schwarz.
Diatoma rhombicum, O'Me., var. oceanica, nov.
Nitzschia constricta, var. antarctica, nov.
Rhizosolenia styliformis, Brightw.
— furcata, n. sp.
Corethron criophilum, Cstr.
Hemiaulus antarcticus, Ehrenb. = Eucampia balaustium, Cstr., et var. minor.
Asteromphalus Hookeri, Ralfs.
— forma Buchi, Ehrenb.
— — Humboldti, —
— — Cuvieri, —
— — denarius, Janisch.
— Darwini, Ehrenb.
Hyalodiscus radiatus, O'Me., var. arctica, Grun.
Actinocyclus oliveranus, O'Me.
Coscinodiscus margaritaceus, Cstr.

Coscinodiscus lunae, Ehrenb.
— excentricus, Ehrenb.
— atlanticus, Cstr., et var.
— lineatus, Ehrenb.
— lentiginosus, Janisch.
— — var. maculata, Grun.
— africanus, var. wallichianus, Grun.
— subtilis, Ehrenb.
— — var. glacialis, Grun.
— tumidus, Janisch.
— — var. fasciculata, nov.
— radiatus, Ehrenb.
— decrescens, var. polaris, Grun.
— fasciculatus, A. S.
— griseus, var. gallopagensis, Grun.
— curvulatus, var. maculata, nov.
— tuberculatus, Grev., var. excentrica, nov.
— — var. antarctica, nov.
— elegans, Grev.
— robustus, Grev.
— — var. minor.
— antarcticus, Cstr.
— denarius, A. S.
— marginatus, Ehrenb.

Les espèces de diatomées, radiolaires, foraminifères, caractéristiques des régions tropicales et subtropicales, font totalement défaut dans ce sédiment.

Les minéraux varient considérablement en diamètre, nature et fréquence. Par 3 600 mètres ils ne représentaient que les 3 °/₀ du dépôt, tandis que par 1 097 mètres les 25 °/₀, la teneur moyenne étant de 15,6 °/₀. Le diamètre moyen est de 0,12 mm., mais on rencontre aussi, dans l'aire de la vase à diatomées,

des fragments de roches provenant du continent antarctique et qui ont été charriés par les glaces flottantes, souvent jusqu'au 40° de Lat. S.

MURRAY et RENARD donnent comme suit la composition moyenne d'une vase à diatomées :

Carbonate de chaux	Foraminifères pélagiques	18,21	
	— benthiques	1,60	
	Autres organismes . .	3,15	22,96
Résidu	Organismes siliceux . .	11,00	
	Minéraux	15,60	
	Parties fines	20,44	77,04
			100,00

§ 2. — *Composition chimique.*

MURRAY et RENARD donnent l'analyse suivante d'une vase à diatomées recueillie par 2 567 mètres de profondeur.

	Perte au feu	5,30
Soluble dans HCl.	SiO^2	67,92
	Al^2O^3	0,55
	Fe^2O^3	0,39
	$CaCO^3$	19,29
	$CaSO^4$	0,29
	$(PO^4)^2Ca^3$	0,41
	$MgCO^3$	1,13
Insoluble	SiO^2, Al^2O^3, Fe^2O	4,72
		100,00

Le carbonate de chaux (19,29 °/₀) provient en grande partie des coquilles de foraminifères. Le résidu

insoluble, ne se montant qu'à 4,72 °/₀, témoigne de la pureté de l'échantillon. Etant donné la très faible teneur en oxydes de fer et d'alumine (0,55 °/₀ et 0,39 °/₀), on peut admettre que l'eau de la perte au feu était combinée avec la silice sous forme de silice hydratée qui formerait les frustules de diatomées tout comme les squelettes de radiolaires.

§ 3. — *Distribution géographique.*

Pour Murray et Renard, en 1891, on ne rencontrait de la vase à diatomées que sur le bord des boues bleues de l'océan Antarctique, comme, du reste, ils le dessinèrent sur leur carte générale des dépôts marins. Depuis lors, les sédiments recueillis, en 1873, par le U. S. S. « Tuscarora », ayant été examinés et déterminés à nouveau au « Challenger Office », Sir John Murray[1] remarqua que l'on rencontrait de la vase à diatomées dans le Pacifique nord et que, semblable à un ruban, ce dépôt s'étend de Yezo (Japon) le long des Kouriles, du Kamtschatka, de l'Alaska, jusqu'à Vancouver.

§ 4. — *Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero ».*

M. Harvey Pirie[2], le géologue de l'expédition antarctique écossaise de la « Scotia », fit remarquer que dans la mer de Weddell la distribution des diatomées dans les eaux de surface était loin de concorder avec la distribution des diatomées sur le fond. En effet, les

1. Murray, 25.
2. Pirie, 1.

diatomées sont abondantes dans les eaux de surface, au-dessus des boues bleues de la mer de Weddell; par contre, dans le dépôt, les diatomées sont totalement absentes ou présentes en de très faibles proportions. On rencontre les diatomées en grande abondance dans les sédiments des localités situées entre 51° et 52° de lat. S., où, par contre, ces organismes sont très rares dans les eaux de surface. Cette absence de diatomées dans le sédiment est-elle peut-être causée par une rapide accumulation de sédiments détritiques glaciaires ? M. Pirie ne le pense pas, étant donné qu'entre la vase à diatomées et la véritable boue bleue il existe une aire recouverte d'un sédiment qu'il dénomma « boue bleue ressemblant à l'argile rouge », due à une accumulation très lente de très fines particules de boue glaciaire et caractérisée d'autre part par l'absence complète de roches continentales charriées par les « icebergs », étant donné la direction des courants marins dans cette région. Les diatomées devraient donc se rencontrer dans ce dernier dépôt.

La question de profondeur ne peut également pas entrer en ligne de compte, les boues bleues se déposant dans cette contrée entre 4390 et 4398 mètres, tandis que la vase à diatomées se forme de 3800 à 4600 mètres.

Les courants de surface ne peuvent pas plus expliquer ce curieux fait, car dans la partie sud de la mer de Weddell, ils vont à l'ouest, tandis que dans la partie nord, à peu près à la limite des boues bleues et de la vase à diatomées, ils se dirigent à l'est.

Il faut donc en revenir à la tentative d'explication donnée par M. Philippi, le géologue de l'expédition

antarctique allemande du « Gauss », qui trouva les mêmes faits. Ce savant supposa qu'un courant sous-marin, allant du sud au nord, charriait vers le nord les diatomées tombant de la surface, les empêchant ainsi d'atteindre le fond dans la localité où elles abondent à la surface des eaux.

MM. Pirie et Brown[1], dans leur récit du second voyage de la « Scotia », disent qu'ils rencontrèrent, au sud du 70°, précisément dans la région où Ross indiqua : « 4000 brasses, pas de fond », un fort courant sous-marin qui par deux fois empêcha le chalut d'atteindre le fond et qui, très probablement, fut cause que la sonde de Ross ne toucha pas le fond, n'étant pas assez chargée.

L'étude de la distribution de la vase à diatomées nous amène donc à considérer les effets des courants de fond, sur lesquels nous ne savons encore rien de très précis.

M. Flint[1], qui étudia les sédiments récoltés par le « Nero », trouva, contre toute attente, des vases à diatomées dans le Pacifique occidental, entre Guam et Luzon, à 13 localités différentes et entre Guam et Midway Island, à des profondeurs variant de 4449 mètres à 6690 mètres. Les diatomées appartiennent à une même espèce tropicale: *Coscinodiscus rex* Wallich, une des plus grandes diatomées connues, d'un diamètre d'environ 0,8 mm. Une particularité de ce dépôt serait une stricte limitation ; une pure vase à diatomées peut-être rencontrée à une station et à la suivante, à 5 milles de distance, on ne rencontre plus

1. Pirie, 2, tir. à part. p. 5.

une diatomée dans le sédiment. Quelle est la cause du dépôt si limité de cette vase, qu'on supposait confinée aux mers froides, au milieu de l'argile rouge? Nous ne pouvons, pour le moment présent, que poser la question et espérer que des sondages futurs permettront de hasarder une explication.

II[e] PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAPITRE I

LES DÉPÔTS DE MANGANÈSE

I. — LES NODULES DE MANGANÈSE DANS LES SÉDIMENTS DE MER PROFONDE

La découverte des nodules de fer et de manganèse dans les sédiments marins actuels fut faite, comme celle des concrétions phosphatées, par l'expédition du « Challenger ». Ils furent décrits pour la première fois par MURRAY et RENARD.

Les oxydes de fer et de manganèse sont parmi les corps les plus abondamment distribués dans les dépôts marins des régions abyssales où ils se présentent souvent à l'état de nodules. Après le « Challenger » ces dépôts furent rencontrés par M. Alexander AGASSIZ à bord de l' « Albatross », par l'expédition allemande de la « Valdivia » et par le « Nero » de la marine des Etats-Unis, etc.

§ 1. — *Caractères généraux.*

Les nodules de manganèse[1] possèdent une grande variété de formes ; ils mesurent, dans leur plus grand

1. Pour plus de simplicité le mot manganèse représentera dorénavant les termes : oxydes de fer et de manganèse.



Fig. 10. — Nodule de manganèse sur lequel s'est développé un *Scalpellum Darwini*. Pacifique sud. 3951 mètres « Challenger ». (D'après MURRAY et RENARD)

diamètre, de 1 à 15 cm. Leur aspect général est tout différent de celui des concrétions phosphatées, ils sont plus arrondis et ressemblent vaguement à des pommes de terre. Lorsqu'on les casse ou qu'on les coupe à la machine on voit qu'ils sont formés de deux parties distinctes : le noyau ou nucleus et la zone externe d'une couleur noire, formée de couches concentriques dont les éléments principaux sont les oxydes hydratés de fer et de manganèse.

Les nodules sont de deux sortes : simples ou composés. Dans le premier cas nous ne trouvons qu'un seul noyau ; dans le second nous trouvons plusieurs noyaux ou mieux plusieurs nodules simples réunis en un seul. Dans cette dernière espèce le dépôt concrétionnaire s'est premièrement effectué autour de chaque noyau, puis ces nodules simples, grandissant par le dépôt de couches

successives, arrivent en contact les uns avec les autres et s'unissent pour ne former qu'un seul nodule dont les couches concentriques externes épousent les contours des nodules simples réunis, ainsi que le montre fort bien la figure n° 11.

Il est à remarquer *qu'il n'existe aucune relation chimique entre le noyau et le dépôt de manganèse* ; le premier pouvant être constitué indifféremment par des carbonates, des phosphates, des silicates et même par de la silice. N'importe quel corps solide peut servir de nucleus; les centres concrétionnaires, formés par de la ponce ou des fragments de verres volcaniques, plus ou moins décomposés, sont les plus fréquents ; viennent ensuite des noyaux formés par des dents de squales, des otolithes, des os tympaniques de cétacés, des éponges calcaires et siliceuses et quelquefois même une sorte d'agglomération du sédiment a servi de noyau, comme le prouvent des moules de foraminifères.

La nature concrétionnaire est indiquée non seulement par la présence d'un noyau, mais encore par celle de zones concentriques. D'une manière générale, les zones les plus internes épousent rigoureusement la forme du noyau tandis que celles de l'extérieur tendent à se régulariser. Quelques zones sont d'une couleur beaucoup plus foncée que d'autres, grâce à une plus grande quantité de manganèse. Les zones les plus claires se trouvent contenir un mélange de manganèse et de matières argileuses. Si nous traitons par l'acide chlorhydrique un nodule coupé à la machine, le manganèse entre en solution et la structure concrétionnaire apparaît d'autant plus qu'il ne reste autour du

noyau qu'un squelette formé par les zones argileuses de couleur claire, qui ont résisté à l'action de l'acide.

Dans les nodules les plus purs, c'est-à-dire exempts de matières argileuses, on peut observer une structure fibro-radiée rappelant celle de la pyrolusite. Des

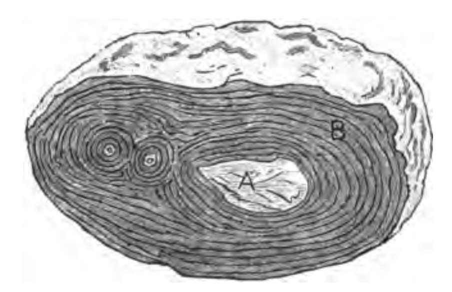


Fig. 11. — Section à travers un nodule de manganèse du Loch Striven montrant 3 nuclei A, formés de fragments de roche et les zones concentriques de manganèse B (D'après Murray et Irvine).

fractures se produisent alors facilement, suivant les rayons du nodule. On rencontre souvent des nodules dont le nucleus est formé par un fragment de nodule très pur qui s'est brisé sur le fond.

§ 2. — *Caractères microscopiques.*

Les caractères microscopiques du manganèse des nodules ne permettent aucune détermination spécifique du minéral. Comme tous les oxydes de manganèse, celui qui forme la partie principale des nodules apparaît, en coupes minces, tout à fait opaque : une masse noire, quelquefois légèrement brunâtre. On ne rencontre aucune trace de structure interne ou de cris-

tallisation, excepté dans quelques nodules très denses où une apparence crypto-cristalline est comparable à la pyrolusite. Mélangé à de la matière argileuse, le manganèse apparaît sous forme de petits grains à centre noir et à périphérie brunâtre. Le manganèse assume souvent une structure dendritique, très apparente sous le microscope, traversant les zones argileuses.

§ 3. — *Composition chimique.*

A quelles espèces minérales appartiennent les oxydes qui forment les nodules? Nous verrons, dans les analyses que nous donnons plus loin, que le manganèse se trouve à l'état d'oxyde hydraté mélangé avec des quantités variables de limonite et de matières argileuses.

La couleur externe des nodules est d'un brun noir terne. La matière dont ils sont formés salit les doigts et est facilement sectile au couteau. La trace laissée sur de la porcelaine dégourdie est d'un brun rouge ou d'un brun noisette, semblable à celle que donne la manganite MnO (OH) et la hausmannite MnO^4Mn^2. La dureté est très variable, augmentant avec la pureté du nodule. Les spécimens les plus purs sont susceptibles d'un beau poli noir bleu comme celui de la psilomélane. Quand on les retire de la mer, les nodules sont lourds et tendres. En séchant, ils deviennent plus légers, durs, cassants. Pulvérisés et fondus sur la lame de platine avec du carbonate de soude et du nitrate de potasse, ils donnent la réaction caractéristique du manganate de soude de couleur verte. Attaqués à l'acide chlorhydrique, ils mettent en liberté du

chlore. Le poids spécifique de certains échantillons est très faible étant donné la présence d'un noyau de ponce. Les analyses quantitatives qui vont suivre indiquent clairement la composition chimique des nodules. L'oxyde de manganèse est généralement le corps le plus abondant, mais est quelquefois dépassé par l'oxyde de fer. A côté de ces oxydes nous trouvons les principaux constituants dans lesquels les nodules étaient enfouis. La silice, souvent en excès sur l'alumine, peut être attribuée à la présence d'organismes siliceux. La présence de carbonate de chaux, de phosphate de chaux, de carbonate de magnésie indique des restes d'organismes. On y a rencontré également des traces de nickel, de cobalt et autres corps rares.

Station 299 « Challenger ». Profondeur 3951 mètres.

		Partie dure de quelques nodules.		Partie tendre de quelques nodules.	
	Perte au feu		10,40		10,00
Soluble dans HCl.	CuO	traces	80,64	traces	77,50
	$Al^{2}O^{3}$	—		0,30	
	$Fe^{2}O^{3}$	5,86		14,00	
	$(PO^{4})^{2}Ca^{3}$	traces		traces	
	MnO^{2}	63,23		46,89	
	NiO	traces		traces	
	$SO^{4}Ca$	0,51		0,58	
	$CO^{3}Ca$	2,79		2,57	
	$CO^{3}Mg$	2,65		4,16	
	SiO^{2}	5,60		9,00	
Insoluble	$Al^{2}O^{3}$	2,40	8,96	2,60	12,50
	$Fe^{2}O^{3}$	0,60		0,70	
	CaO	0,34		0,51	
	MgO	0,13		0,29	
	SiO^{2}	5,49		8,40	
			100,00		100,00

L'analyse suivante est due à GÜMBEL[1] :

Station 252 « Challenger ». Profondeur 5 011 mètres.

Fe^2O^3	27,460
MnO^2	23,600
H^2O	17,819
SiO^2	16,030
Al^2O^3	10,210
Na^2O	2,358
Cl	0,941
CaO	0,920
TiO^2	0,660
SO^3	0,484
K^2O	0,396
MgO	0,181
CO^2	0,047
P^2O^5	0,023
CuO	0,023
NiO + CoO	0,012
BaO	0,009
	101,173

MURRAY et RENARD trouvèrent que, dans un cas, le manganèse répondait à la formule : $MnO^2 + \frac{1}{2} H^2O$ et était uni à la limonite ($2Fe^2O^3 + 3H^2O$) 26,7 %.

On arrive ainsi à la conclusion que les nodules de fer et de manganèse doivent être classés avec les variétés d'oxydes hydratés de manganèse connues sous le nom de *wad*.

1. GÜMBEL, 1, p. 869.

§ 4. — *Mode de formation.*

En 1876 déjà, MURRAY[1] fit remarquer que les nodules de manganèse étaient associés, sur le fond de la mer, à des débris de roches volcaniques basiques. Il attribua donc l'origine du manganèse des nodules à l'oxydation du bicarbonate de manganèse provenant de la décomposition des roches volcaniques et à sa déposition subséquente sous forme concrétionnaire.

En 1878, GUMBEL analysa quelques nodules dragués par le « Challenger », nodules qui lui avaient été remis par des membres de l'expédition. Il expliqua leur formation en faisant intervenir l'action de sources sous-marines qui auraient contenu du manganèse en solution. Ce dernier aurait été précipité au contact de l'eau de mer et la forme arrondie des nodules serait due à un roulage répété sur le fond.

En 1881, BUCHANAN expliqua la formation de ces nodules en faisant intervenir l'action de matières organiques. En effet, d'après cet auteur, les matières organiques réduisent les sulfates, en solution dans l'eau de mer, en sulfures d'où il résulterait formation de sulfures de fer et de manganèse. Ces derniers corps, subséquemment oxydés, formeraient alors les nodules de manganèse. BUCHANAN répéta, en 1890, cette manière de voir. MURRAY et IRVINE[2], à la suite d'expériences faites à la station maritime de Granton, montrèrent le non fondé de la théorie de BUCHANAN. Ces auteurs exposèrent, dans de l'eau de mer, des nodules

1. MURRAY, 1, p. 255-258 et MURRAY, 2, p. 529.
2 MURRAY, 17.

pulvérisés en présence de moules en décomposition. Les sulfates en solution furent réduits à l'état de sulfures, le peroxyde de manganèse en protoxyde qui, soluble en présence de l'acide carbonique, passa en solution à l'état de bicarbonate, tandis que le peroxyde de fer était précipité, comme sulfure de fer insoluble, grâce à la formation d'hydrogène sulfuré, comme le montrent les équations suivantes :

$$RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS$$

où R est un métal alcalino-terreux

$$RS + 2CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3CO^2$$
$$Fe^2O^3 + 3H^2S = 2FeS + S + 3H^2O$$

En 1882, Boussingault[1] estima que les concrétions et les revêtements de manganèse, dans les dépôts marins, dérivaient du carbonate et rejeta les théories émises par Gumbel et Buchanan comme insuffisantes.

Dieulafait, en 1883, se basant sur le fait que de l'eau collectée entre New-York et Marseille aussi bien que dans la mer Rouge et l'océan Indien, abandonna un dépôt riche en manganèse, conclut que le manganèse existe dans l'eau de mer à l'état de carbonate. Ce dernier sel étant oxydé à la surface se transforme en oxyde qui, ensuite, tomberait sur le fond où il prendrait une forme concrétionnaire.

Murray et Renard, dans les « Reports » du « Challenger » en 1891, acceptèrent la théorie émise déjà en 1878 par l'un d'eux, comme étant celle qui s'accorde le mieux avec la distribution des nodules de manga-

1. Boussingault.

nèse et les conditions sous lesquelles on les rencontre. Pour ces savants le manganèse en solution dans l'eau de mer contribue certainement à la formation des nodules, mais la plus grande partie doit provenir de la décomposition des silicates se trouvant sur le fond de la mer et qui contiennent du fer et du manganèse, comme le prouvent les échantillons de palagonite, de ponces, de verres volcaniques qu'on rencontre, associés, sur le fond de la mer, aux nodules de manganèse. La décomposition de ces silicates est causée par

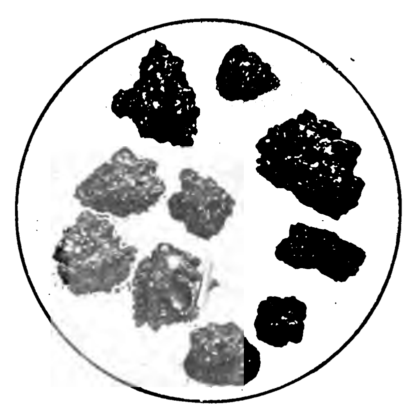


Fig. 12. — Petits nodules de manganèse. Pacifique. 2462 mètres. « Nero ». $\frac{15}{1}$. (D'après J.-M. Flint).

l'eau de mer contenant de l'acide carbonique provenant de la décomposition de matières organiques et, peut-être en quelques cas, d'émanations gazeuses sous-marines.

Les roches volcaniques attaquées par l'acide carbonique donneront naissance à des bicarbonates solubles

et à un silicate hydraté d'alumine qui, comme nous l'avons vu, joue un grand rôle dans la formation de l'argile rouge.

Pour MURRAY et RENARD, à quelque point que ce soit, un grain de peroxyde de manganèse vient-il à être déposé sur le fond de la mer, il attirera graduellement tout le manganèse en solution dans le voisinage. Ces auteurs expliquent, par une attraction moléculaire, la concentration du manganèse autour de noyaux de différente composition.

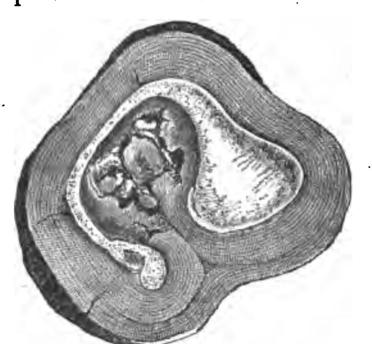


Fig. 13. — Os tympanique de *Mesoplodon*, recouvert par d'épaisses couches de manganèse. Grandeur naturelle. Sud de l'Océan Indien. 3841 mètres. « Challenger ». (D'après MURRAY et RENARD).

Comme nous venons de le voir, MURRAY et RENARD admettent que la désagrégation des roches volcaniques sous-marines provient d'une attaque par l'acide carbonique en solution. Ce mode dé désagrégation est probablement le seul en action dans les roches volcaniques anciennes et dans les roches récentes déjà refroidies. Mais supposons une éruption sous-marine : la lave, comme l'a montré récemment M. Albert BRUN [1], contenant, en quelque sorte, ses propres dissolvants qui sont le gaz acide chlorhydrique et le chlore, se décomposera au contact de l'eau. Le manganèse pas-

1. BRUN, p. 9, tir. à part.

sera en solution à l'état de chlorure et sera subséquemment précipité après avoir été oxydé.

A Santorin (Kaïmeni), d'après ce savant, l'eau chaude et *acide* ($SO^4H^2 + HCl$) attaque l'andésite et la recouvre d'une couche de silice gélatineuse. La boue marine, d'une couleur rouge, riche en limonite, est un produit résiduel de la désagrégation des roches andésitiques.

Il faut donc faire intervenir, dans la désagrégation des roches volcaniques sous-marines, non seulement l'action de l'acide carbonique, mais encore celle des gaz dissous dans la lave.

II. — Le manganèse dans les dépôts terrigènes

On rencontre le manganèse dans les dépôts terrigènes sous forme de nodules et d'enduit sur les pierres reposant sur le fond. Bien que ces formations soient peu répandues nous les étudierons pour les comparer ensuite aux nodules que l'on rencontre dans les abysses.

Dans un chapitre précédent, nous avons vu que l'eau d'imbibition des boues bleues avait une composition chimique différente de celle de l'eau de mer normale. En continuant leurs recherches sur la composition de l'eau d'imbibition des boues, Murray et Irvine[1] constatèrent que l'eau d'imbibition des boues bleues contient du manganèse en quantité variant de 0,008 à 0,06 grammes par kilogramme d'eau.

Sur la côte, à Granton, non loin d'Edimbourg, on

1. Murray, 17.

peut voir une vieille carrière dans laquelle la mer a fait irruption il y a une quarantaine d'années et dont les parois, entre les marques de marées, sont colorées en noir par un dépôt de bioxyde de manganèse. Les pierres ainsi que les coquilles, se trouvant dans le chenal par lequel la marée entre et sort, sont recouvertes également d'un enduit de bioxyde de manganèse.

L'eau de mer entrant dans la carrière ne contient pas trace de manganèse, ce dernier provient donc de l'eau d'imbibition de la boue où il se trouve à l'état de carbonate. Ce carbonate de manganèse provient de la décomposition de fragments de roches et de minéraux qui entrent dans la composition des boues bleues. Cette désagrégation se fait grâce à la présence de carbonates alcalins provenant de la décomposition de sulfures, comme nous l'avons vu au sujet des réactions chimiques se passant dans l'eau d'imbibition des boues bleues (chap. II, § 3, p. 47).

Les expériences de laboratoire de MURRAY et IRVINE ont montré que le bicarbonate de manganèse ne pouvait pas rester longtemps en solution dans l'eau de mer. Ce sel, en effet, est très rapidement oxydé et précipité à l'état de bioxyde.

L'analyse de l'eau de plusieurs ruisseaux sortant de tourbières a démontré que le manganèse se trouvait en solution à l'état de bi-carbonate ou comme sel, à radical acide complexe (silico-azo-humate, etc.). Ces deux espèces de sels s'oxydent très facilement en donnant des oxydes de fer et de manganèse qui se déposent sur les pierres de fond, comme on l'a surtout remarqué dans les torrents et ruisseaux du bas-

sin de la Clyde. Dans les périodes de crues ces revêtements de manganèse sont arrachés et entraînés jusqu'à la mer avec d'autres débris qui forment la plus grande partie des boues bleues. De nombreuses réactions chimiques, grâce à la présence de matière organique, auront lieu dans les boues bleues.

Les sulfates, comme nous l'avons déjà vu, sont réduits en sulfures d'après l'équation suivante :

(1) $$RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS;$$

R représente un métal alcalino-terreux

Ces sulfures alcalino-terreux sont transformés, par l'acide carbonique, en bicarbonates solubles qui vont augmenter l'alcalinité de l'eau d'imbibition :

(2) $$RS + 2CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3CO^2$$

Ces bicarbonates alcalins serviront à attaquer les silicates présents dans la boue, tandis que l'hydrogène sulfuré va réduire l'oxyde de fer et de manganèse en sulfures :

(3) $$Fe^2O^3 + 3H^2S = 2FeS + 3H^2O + S$$

Le sulfure de fer ainsi formé étant stable restera dans la boue à laquelle il communique sa couleur bleuâtre. Le sulfure de manganèse étant très facilement oxydable, se transforme au contact d'acide carbonique en bicarbonate de manganèse soluble :

(4) $$MnS + H^2O + 2CO^2 = Mn\ CO^3CO^2 + H^2S$$

Ce bicarbonate de manganèse s'oxydera et formera du bioxyde de manganèse qui restera dans la boue.

Le manganèse ne peut donc pas exister dans les boues à l'état de sulfure.

Le bassin marin de la Clyde (Clyde Sea-Area) consiste en une série de cuvettes séparées les unes des autres par des barrières sous-marines. La profondeur des cuvettes varie de 55 à 194 mètres, celle des barrières de 5 à 27 mètres. On ne rencontre aucun nodule de manganèse dans les parties profondes des cuvettes, tandis que dans les parties moins profondes, sur la pente de chaque côté des barrières, la boue bleue est recouverte d'une couche rougeâtre due à l'oxydation du fer et dans laquelle on trouve des nodules, assez semblables à ceux des dépôts de mer profonde et des pierres entourées d'un anneau d'oxyde de manganèse atteignant jusqu'à 10 cent. d'épaisseur. Cet anneau d'oxyde de manganèse marque la séparation entre la partie de la pierre exposée à l'eau et la partie plongée dans la boue.

Sur les barrières, continuellement lavées par les marées, on ne trouve pas de boue. Les pierres sont recouvertes d'un enduit noir d'oxyde de manganèse.

La cause de cette accumulation réside dans le fait d'une oxydation qui se passerait à la limite de l'eau et de la boue. Le bicarbonate de manganèse, en effet, en solution dans l'eau d'imbibition de la boue, est oxydé à cet endroit et se dépose en anneau sur les pierres.

Supposons maintenant que le dépôt augmente, l'anneau de manganèse se trouvera enterré dans la boue ; le bioxyde passera à l'état de sulfure, comme nous l'avons vu plus haut, qui entrera en solution comme bicarbonate. Ce dernier sel oxydé se déposera de

nouveau sous forme de bioxyde, peut-être au sommet de la même pierre ou sera transporté et déposé à un autre endroit.

Donc, grâce à l'accumulation rapide des sédiments dans les boues bleues, les dépôts de manganèse sont en quelque sorte doués de mobilité.

Des nodules furent dragués une seule fois en eau profonde par 194 mètres, dans le Loch Fyne. Ce creux, comme on pourrait l'appeler, coupe une bar-

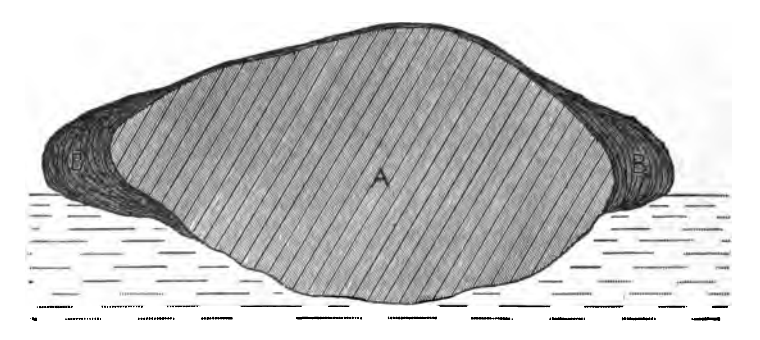


Fig. 14. — Shéma montrant la disposition des couches B dem anganèse sur une pierre A, à moitié enfouie dans la vase. Barrière du Loch. Goil. $\frac{1}{20}$;

(D'après MURRAY et IRVINE)

rière sous-marine. Un courant assez fort passe au travers et se fait sentir jusque sur le fond. La présence de nodules n'a donc rien d'extraordinaire, car grâce au mouvement du courant il y a apport d'oxygène par constant renouvellement d'eau. Les bicarbonates en solution peuvent donc être oxydés.

La composition chimique des nodules des dépôts

terrigènes diffère de celle des nodules des régions abyssales. Cette différence est de même ordre que celle qui existe entre une boue bleue et une argile rouge, c'est-à-dire que le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique est plus grand dans les nodules des boues bleues que dans ceux de l'argile rouge, grâce à l'abondance des minéraux clastiques.

L'oxydation des nodules des dépôts terrigènes est inférieure à celle des nodules des abysses ; la formule de l'oxyde de manganèse étant dans le premier cas : $MnO^{1,86}$

III. — Résumé

Le manganèse des dépôts terrigènes provient de deux sources différentes :

1° de la décomposition des roches continentales par l'action de l'eau chargée d'acide carbonique et surtout d'acide humique. Le fer et le manganèse entrent alors en solution à l'état de bicarbonates, de silico-azo-humates et de crénates. Cette action se passe dans le cours supérieur des rivières. Le manganèse et le fer sont ensuite oxydés et précipités à l'état d'oxydes qui recouvrent les pierres d'un enduit noir. Cet enduit est ensuite arraché, dans les époques de crues, et déposé dans la mer avec d'autres sédiments qui constituent les principaux éléments des boues bleues. Grâce à la présence de matière organique cet oxyde subit un cycle de réductions et d'oxydations.

2° De la décomposition, par les bicarbonates alcalins et l'acide carbonique en solution dans l'eau, des roches et minéraux détritiques qui entrent dans la constitution des boues bleues.

Le manganèse des dépôts de mer profonde provient de la désagrégation des produits volcaniques sous-marins et du manganèse en solution dans l'eau de mer. Les silicates basiques en se décomposant abandonnent, en solution, du bicarbonate de manganèse qui sera rapidement oxydé en bioxyde et précipité sur le fond où il est attiré par les corps solides.

Le manganèse des dépôts terrigènes provient de la décomposition des roches continentales, tandis que le manganèse des sédiments de mer profonde provient de l'attaque des produits volcaniques sous-marins.

CHAPITRE II

LA GLAUCONIE[1]

§ 1 — *Glauconie en tant que minéral.*

a. *Habitus.*

La glauconie se présente sous trois formes différentes : comme *produit de remplissage* de coquilles de foraminifères et comme *grains* prenant part à la formation des sables verts et autres roches sédimentaires glauconieuses. La troisième forme est la Glauconie dite *pigmentaire* qui imprègne la roche, tel un enduit vert dû à la présence d'une multitude de paillettes submicroscopiques. Comme nous le verrons plus tard, ces deux dernières catégories étant dérivées sans

1. Ce chapitre est entièrement tiré d'une étude faite par l'auteur et M. le Dr G. W. Lee au « Challenger Office », à Edimbourg (voir Collet, **3**). La Société royale d'Edimbourg a bien voulu nous autoriser à reproduire les figures de ce mémoire.

aucun doute de la première, nous pouvons les grouper sous le nom de *glauconie secondaire.*

Moules glauconitiques. — Les moules typiques,

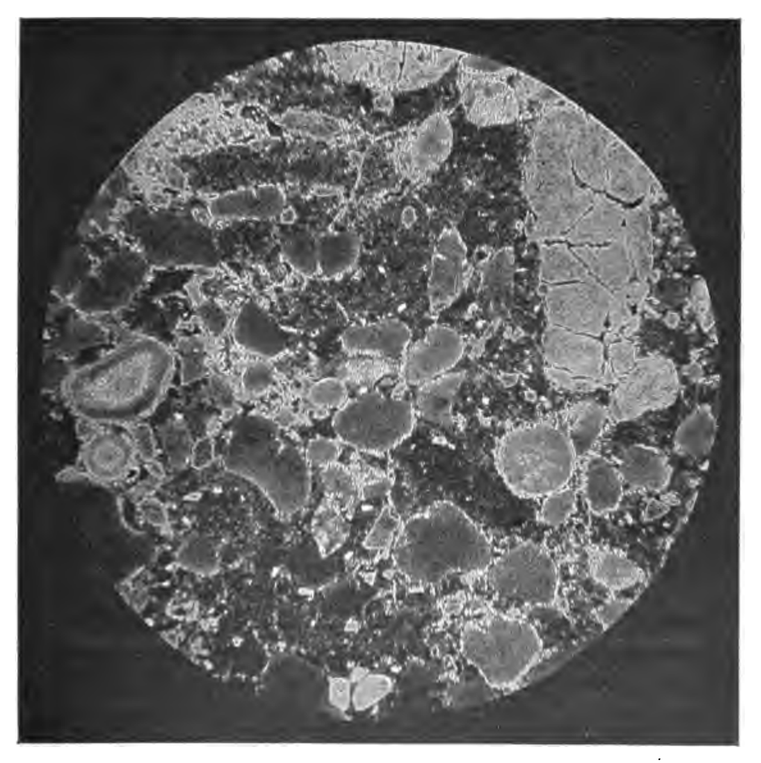


Fig. 15. — Aspect général des grains de glauconie dans un nodule phosphaté (D'après Collet et Lee).

dont le diamètre est en général inférieur à 1 mm., sont vert foncé, et quelquefois pourvu d'un noyau

jaune ou brun. La partie verte a toutes les propriétés de la glauconie telle que les minéralogistes la comprennent : l'indice de réfraction, la biréfringence et la structure cryptocristalline, sont les mêmes que chez la glauconie des grès verts, etc. D'autre part le noyau brun est opaque et amorphe.

Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que jusqu'à présent il n'a point été rencontré de moules à centre vert et périphérie brune, cela, bien entendu, tant que la coquille du foraminifère est conservée. La présence d'un noyau brun entouré d'une zone de glauconie parfaite ne peut s'expliquer que par un processus chimique sur lequel nous reviendrons au chapitre traitant de la genèse de la glauconie.

Glauconie en grains. — La plus grande partie de la glauconie mentionnée ou étudiée par les géologues appartient à cette catégorie ; elle est le constituant le plus caractéristique des grès verts des assises géologiques et des sables et boues verts des mers actuelles, et il est à peu près hors de doute qu'elle est due au remaniement des moules glauconitiques.

Glauconie pigmentaire. — La teinte verte de nombreux échantillons lithologiques sédimentaires et des mers actuelles, tels que concrétions phosphatées, etc., est due à la présence de glauconie à l'état finement divisé, appelée par M. Cayeux *glauconie pigmentaire* ; elle est due ou bien à une précipitation chimique, ou bien au dépôt tranquille de glauconie préexistante amenée par trituration à l'état pulvérulent. Dans certains cas, elle peut remplir des coquilles de foraminifères, donnant ainsi naissance à des moules dont l'origine est facile à mettre en lumière lorsqu'on peut

voir la glauconie incluse se propager sans interruption dans le ciment englobant les coquilles de foraminifères. Les moules ainsi formés sont, par opposition à ceux cités plus haut, de faux moules, et n'ont pas d'importance au point de vue de la genèse de la glauconie.

b. *Propriétés physiques.*

Poids spécifique. — Selon M. Lacroix, la valeur de la densité de la glauconie oscille entre les chiffres de 2,2 à 2,3; M. Rosenbusch donne le chiffre de 2,30.

Dureté. — La glauconie est assez tendre pour être écrasée sous l'ongle; ce peu de cohésion est un argument en faveur de la genèse purement mécanique de la glauconie pigmentaire (les cas d'épigénie dont nous parlerons plus loin devant être attribués à un dépôt par solution), et explique la forme généralement arrondie des grains.

Structure. — La glauconie ne se présente que rarement sous forme de cristaux proprement dits; chaque grain ou moule consiste en un agrégat de cristaux lamellaires microscopiques dont le diamètre ne dépasse en moyenne guère 0,003 mm., et dont les axes d'élasticité n'ont pas une orientation commune, de sorte que le grain ou moule, quoique d'apparence homogène en lumière ordinaire, offre des plages diversement illuminées entre nicols croisés.

M. Cayeux a décrit une variété bien cristallisée de glauconie, dont il a eu l'amabilité de nous envoyer quelques échantillons aux fins de les comparer à d'autres de la collection de Sir John Murray, et provenant du crétacé d'Irlande, de Folkestone et du

nummulitique du Sæntis en Suisse. Cette variété est fortement polychroïque, ng. vert, np. jaune pâle, et s'éteint à 0°. De toutes les sections étudiées, celle qui était le plus près d'être parallèle à ng.-np., avait une biréfringence voisine de la valeur 0,030, biréfringence notablement plus élevée que celle des particules élémentaires des grains à structure cryptocristalline. Ces cristaux montrent en outre un clivage plus ou moins parfait, parallèle à l'axe ng. Cette variété est très rare et n'a pas encore été rencontrée en voie de formation dans les mers actuelles, de sorte que nous sommes portés à l'envisager comme étant due à une action métamorphique.

C. *Propriétés optiques.*

La *couleur* de la glauconie pure et non attaquée est verte, vert olive, et, dans le cas du gault de Saxonnet en Savoie, d'un beau vert presque bleu. L'intensité de la couleur varie passablement, et semble diminuer avec l'âge du minéral : des échantillons de glauconie du cambrien et du carbonifère d'Angleterre sont vert-d'eau extrêmement pâle, presque incolore ; cela est évidemment dû au métamorphisme, car ici la couleur pâle n'est pas due au mélange mécanique d'une grande quantité d'argile claire, comme cela est le cas pour les moules glauconitiques vert-pâle recueillis par le « Challenger ».

Polychroïsme. — Nous avons déjà parlé de cette propriété caractéristique de la variété bien cristallisée ; elle existe aussi chez la glauconie ordinaire, mais il faut pour l'observer que les particules élémen-

taires aient une taille suffisamment grande pour que l'on puisse isoler l'une d'elles au moyen du diaphragme oculaire, avec le concours d'un fort grossissement. Nous avons observé que lorsque les particules élémentaires ont un diamètre inférieur à 0.008 mm., elles sont trop enchevêtrées les unes dans les autres pour qu'il soit possible d'observer la moindre trace de polychroïsme. Ce dernier est le même que pour la variété bien cristallisée, c'est-à-dire, ng. vert, np. jaune pâle. A notre connaissance cette propriété n'avait pas encore été remarquée dans la glauconie ordinaire des mers actuelles.

Biréfringence. — Même avec les plus forts grossissements il n'est pas possible d'agrandir suffisamment les particules élémentaires pour y observer les figures d'interférence en lumière convergente. On ne peut donc dire avec certitude si les particules qui polarisent le plus haut dans l'échelle de Newton appartiennent à la section principale ng.-np. ou à une section d'orientation quelconque; cependant comme dans le nombre immense de particules formant les grains ou les moules nous n'en avons jamais rencontrés dont la biréfringence dépasse le chiffre 0,020, ce chiffre doit être celui de la biréfringence maxima, car il serait inadmissible qu'aucune de ces myriades de particules ne fût parallèle à la section ng.-np. La glauconie ordinaire diffère donc en outre de la glauconie en grands cristaux par sa biréfringence notablement moins élevée; cette dernière s'abaisse même d'une manière frappante dans les échantillons du cambrien et du carbonifère que nous avons étudiés tout comme la couleur propre du minéral, la même action métamor-

phosante qui fait disparaître la couleur abaissant la biréfringence.

Système cristallin. — M. Lacroix considère la glauconie comme monoclinique, et la place dans le groupe des chlorites ; l'angle des axes varie de 30° à 40°, et peut même s'approcher de 0° ; sauf erreur, ces données ont été étudiées sur la variété en grands cristaux, et nous les avons retrouvées dans les échantillons ayant servi à notre étude : une section de glauconie du crétacé d'Irlande est presque rigoureusement uniaxe, de signe optique négatif, la figure d'interférence étant de toute netteté, tandis que d'autre part la même variété cristallisée, provenant du Sæntis, est franchement biaxe ; mais les sections observées n'étant pas rigoureusement perpendiculaires à la bissectrice aiguë, nous n'avons pu procéder à une mesure d'angle.

Quant à la glauconie ordinaire, on n'a pas les données nécessaires pour établir d'une manière absolue le système cristallin auquel elle appartient, mais il est tout à fait légitime de la placer, comme l'autre variété, dans le groupe des chlorites, et de la considérer comme monoclinique.

d. — *Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être.*

Les sondages entrepris durant ces trente dernières années ont montré que la glauconie existe le plus souvent sous forme de grains formant un des éléments constituants des boues et sables verts ; les moules sont moins fréquents, et la glauconie pigmentaire n'est bien observable que dans le cas de dépôts consolidés.

Différenciation chez les grains glauconitiques modernes. — Une observation digne de remarque est



Fig. 16. — Exemple de différenciation chez la glauconie. La partie interne du grain est crypto-cristalline, tandis que la zone externe est fibro-radiée et a une orientation optique unique. Crétacé d'Antrim. Irlande. (D'après Collet et Lee).

que les grains cimentés montrent une différenciation beaucoup plus avancée que les grains libres des sables

et boues, aussi l'ample moisson de concrétions phosphatées recueillie par les bateaux du « Department of Agriculture of the Cape of Good Hope » sur l'Agulhas Bank nous a-t-elle permis de faire de nombreuses observations sur ce sujet, car il ne faut pas oublier que les concrétions phosphatées sont, avec les nodules de manganèse, les seuls dépôts marins trouvés tout formés à l'état *compact*.

Les phénomènes de différenciations observés sont: Une différence dans l'intensité de la couleur au sein d'un seul et même grain. Les grains de glauconie de certaines concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank ont leur partie médiane d'un vert très pâle, tandis que la partie externe a la couleur vert foncé propre au minéral ; le passage de la teinte claire à la teinte foncée se fait graduellement, sans aucune transition brusque.

En général c'est le contraire qui est le plus fréquent ; le centre est plus foncé que la périphérie, avec, comme dans le cas précédent, passage graduel.

Souvent aussi le grain est entouré d'une très mince gaîne, visible aux forts grossissements seulement, et que l'examen entre nicols croisés montre être isotrope ; à cette gaîne succède quelquefois une nouvelle zone, de couleur verte, plus homogène et moins cryptocristalline que le noyau, et pourvue de clivages radiaux. Entre nicols croisés cette zone se comporte à la façon des sphérolites en donnant le phénomène de la croix noire. Les fibres formant cette couche externe ont un allongement positif, et leur biréfringence est de 0,011 ; en outre, comme la forme de cette couche est quelconque, on ne peut attribuer cette dernière à la pseu-

domorphose de la calcite de coquilles de foraminifères. Il peut être intéressant de noter que son indice de réfraction est inférieur à celui de la glauconie du noyau interne.

C'est aussi à un phénomène de différenciation qu'il nous semble devoir attribuer la formation, dans certains grains, de plages dues à la soudure de particules ayant la même orientation; ces plages cessent d'être cryptocristallines et ont une teinte de polarisation uniforme, bien que souvent elles aient des extinctions roulantes prouvant que leur homogénéité n'est pas parfaite.

Dans les grains de glauconie sédimentaire on retrouve tous les exemples de différenciation cités ci-dessus avec en plus la variété bien cristallisée et clivée dont nous avons déjà parlé, et qui n'existe pas chez la glauconie moderne.

Quant aux moules glauconitiques proprement dits, ils sont presque complètement exempts de ces phénomènes, et les exemples observés peuvent se rapporter à deux cas : l'un dû à une différence dans la cristallisation, l'autre à la présence de minéraux étrangers. Le premier consiste en la présence, dans quelques rares cas seulement, d'un anneau de forme très régulière situé à l'intérieur du moule, et dû à l'arrangement de particules ayant la même biréfringence, de sorte qu'entre nicols croisés on voit au centre du moule un anneau illuminé d'une teinte vive et uniforme. Ce cas a été observé sur des moules d'un sable vert recueilli par le « Challenger » à la station 164.

Dans le matériel de cette même station nous avons rencontré des moules renfermant des taches foncées

et opaques, que leurs contours montrent être dus à la présence de minéraux englobés dans le remplissage

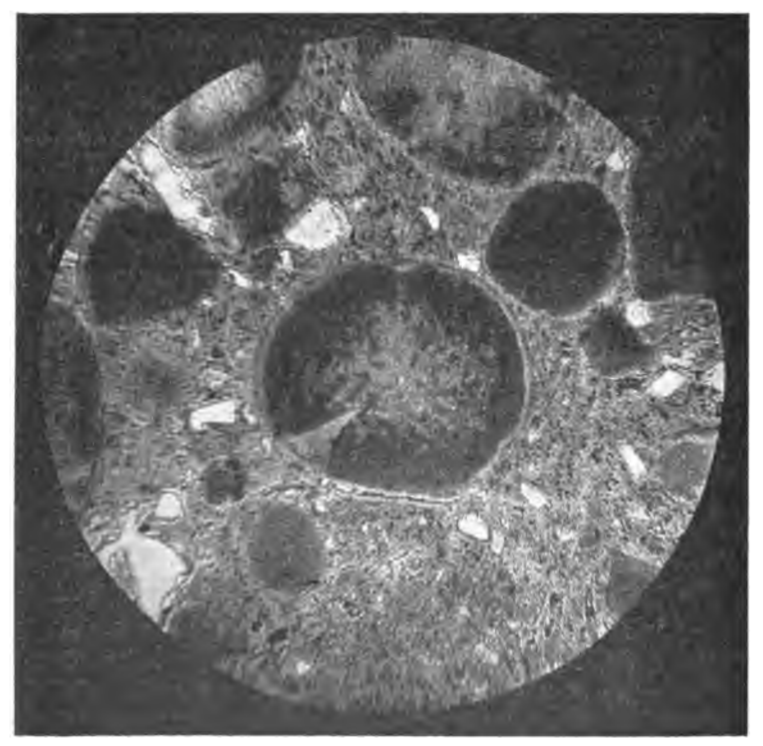


Fig. 17. — Grain de glauconie à centre plus pâle que la masse générale et entouré d'une zone externe isotrope. Nodule phosphaté. (D'après Collet et Lee).

glauconitique, et devenus méconnaissables par suite d'une action chimique leur ayant fait subir une sorte de digestion plus ou moins complète. Ce point est

intéressant à noter, en ce qu'il indique la présence d'un agent chimique puissant, qui pourrait jouer un rôle dans la genèse des moules glauconitiques.

e. *Moules imparfaits.*

Ce que nous avons dit dans le chapitre précédent nous amène à parler ici de moules non exclusivement glauconitiques, et que nous pourrions appeler *moules imparfaits*, et qui marquent un acheminement vers la formation des moules glauconitiques.

Les dépouilles de foraminifères déposées sur le fond de la mer sont toutes destinées à être tôt ou tard remplies par la matière minérale tenue en suspension par l'eau, de sorte qu'une coupe microscopique, faite dans un sable vert ou une boue à globigérines prise à une profondeur ne dépassant pas la limite d'environ deux mille mètres, offrira tous les termes de passage entre des moules simplement argileux, et des vrais moules de glauconie.

Ainsi dans une même préparation on pourra voir que certaines coquilles de foraminifères ne sont qu'en partie remplies par une matière argileuse gris-clair, d'autres sont complètement remplies par cette même matière; continuant cet examen, toujours dans la même préparation, on verra que certains de ces moules, qui sont ce que Sir John Murray a appelé *imperfect casts*, sont teintés de brun par l'adjonction d'une certaine quantité de fer, et, la proportion de fer augmentant, on trouvera, comme terme extrême de la série, des moules brun-foncé, complètement opaques. Ces derniers sont facilement attaquables par les acides sulfurique et chlorhydrique, lentement à froid et rapi-

dement à chaud, en laissant un résidu de silice; donc, si les moules bruns étaient formés d'un mélange mécanique d'argile et de limonite, les acides, attaquant plus rapidement la limonite que l'argile, laisseraient cette dernière sous forme d'un résidu facile à reconnaître. C'est pourquoi il nous semble permis de considérer les moules bruns comme essentiellement formés d'un silicate de fer, tandis que les moules gris sont essentiellement alumineux. Le microscope permet d'aller plus loin encore dans l'étude des différentes phases de l'élaboration d'un moule de glauconie : la même préparation supposée ci-dessus contient *certains moules bruns dont la périphérie montre une manifeste transformation en glauconie, c'est-à-dire qu'au lieu d'être brune, amorphe et opaque, elle devient verte, cristalline, et translucide en lame mince*. On peut ainsi faire défiler sous l'objectif toute une gamme de moules dont la partie verte l'emporte de plus en plus sur la partie brune, et il est évident que la première est plus récente que la dernière, car il serait absurde d'attribuer le noyau brun de ces moules à un phénomène de décomposition, cette dernière partant toujours de la périphérie.

La transformation se fait très graduellement, et il n'y a pas de transition brusque entre les parties brunes et vertes ; la limite comprise entre ces dernières occupe une surface régulière, de sorte que la métamorphose ne se fait pas irrégulièrement le long de prolongements ou diverticules, sauf dans les cas où la nature de la coquille ou son état de conservation auront permis à l'agent de transformation d'opérer selon une surface irrégulière.

Vu l'importance que nous avons accordée à ce sujet, le lecteur pensera peut-être que les moules glauconi-



Fig. 18. — Moule glauconitique contenant encore un noyau brun de silicate de fer amorphe. (D'après Collet et Lee)

tiques forment une part considérable des dépôts marins; il n'en est cependant rien, ce qui pourrait être une objection à l'hypothèse que les grains de glauco-

nie modernes et des assises géologiques ont tous passé par le stade de moules glauconitiques. A cela nous pouvons répondre comme suit : le processus de la formation de la glauconie est évidemment très lent, et si le nombre des moules glauconitiques est infini par rapport à celui des grains, le temps qui s'écoule est suffisant pour permettre à un nombre donné de moules de se transformer mécaniquement en grains, en même temps que de nouveaux moules se reforment, et ainsi de suite. Dès lors, cette hypothèse n'a rien que de très admissible, pour peu que l'on songe que si le processus n'agit pas par grands efforts et par grandes masses, il se répartit sans interruption durant des temps infinis.

Nous renvoyons au chapitre traitant de la genèse de la glauconie les diverses façons possibles d'interpréter le mécanisme selon lequel la silice, le fer, la potasse et l'eau se combinent pour former la glauconie, et nous aborderons maintenant l'étude de la troisième manière d'être de ce minéral, *la glauconie pigmentaire.*

f. *Glauconie pigmentaire.*

C'est de nouveau dans les dépôts compacts que l'on trouve de bons exemples de glauconie pigmentaire, se prêtant à l'étude microscopique des diverses façons dont elle se présente. Il est très probable qu'elle existe aussi au sein des dépôts meubles, mais étant dans ce cas à l'état de boue impalpable noyée dans le reste du sédiment, son manque d'individualité empêcherait que l'on puisse en faire une étude utile.

Ce que M. CAYEUX a dit pour la glauconie pigmentaire des terrains sédimentaires, on le retrouve dans

celle des concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank.

La glauconie pigmentaire, qui est toujours mélangée



Fig. 19. — La calcite de la coquille a disparu et a été remplacée par de la glauconie épigénique. Nodule phosphaté. (D'après Collet et Lee.)

à de la calcite triturée ou à du phosphate de chaux, est ou bien uniformément répandue dans la roche, ou bien plus ou moins individualisée sous forme de

taches, ou enfin peut remplir certaines cavités, telles que des loges de foraminifères. Dans le premier cas elle ne fait que communiquer une teinte verte au ciment de la concrétion, et ce dernier est en proportion trop considérable pour que la glauconie qui y est diffusée puisse réagir sur la lumière polarisée. Quand elle se présente sous forme de taches le centre est quelquefois suffisamment riche en glauconie pure pour pouvoir réagir sur la lumière polarisée, de sorte qu'entre nicols croisés on voit des couleurs de polarisation qui diminuent d'intensité du centre à la périphérie, où le ciment l'emporte sur la glauconie comme dans le premier cas. Nous attirons l'attention sur ce fait qui prouve l'identité de la glauconie pigmentaire et de la glauconie ordinaire, bien que la première ne puisse être directement étudiée pour les raisons déjà indiquées.

Si nous répétons ce que nous avons déjà dit à propos de la glauconie pigmentaire remplissant des coquilles de foraminifères, c'est pour mettre en garde l'observateur, qui pourrait confondre ces faux moules avec les véritables moules glauconitiques. La confusion n'est pas possible si l'on opère entre nicols croisés avec un bon grossissement, car on voit alors les particules de glauconie noyées dans le ciment, qui est isotrope s'il est argileux ou phosphatique, et montre les teintes de polarisation irisées de la calcite, s'il est dû à la trituration de cette dernière. Enfin, en règle générale, la couleur de ces faux moules n'est pas aussi foncée que celle des véritables, et en plaques minces leur relief n'est pas aussi considérable.

Avant de trancher en faveur de l'une ou de l'autre

des hypothèses touchant l'origine de cette manière d'être de la glauconie, nous voulons parler ici de la

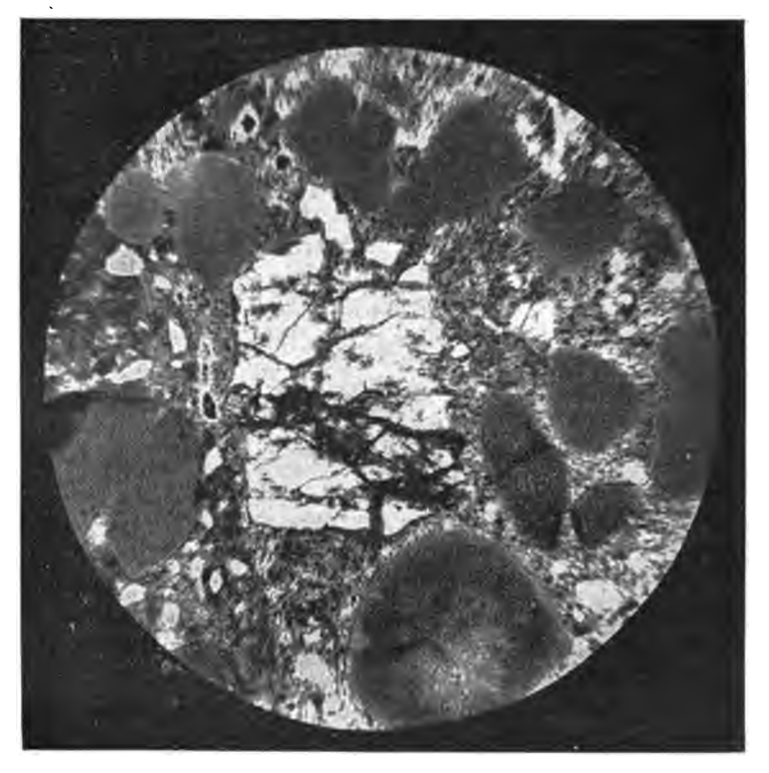


Fig. 20. — Glauconie épigénisant un grain de quartz, au sein d'un nodule phosphaté. (D'après Collet et Lee.)

glauconie epigénique, avec laquelle elle pourrait avoir certains rapports. Comme la glauconie épigénique a

été étudiée très en détail par M. Cayeux[1] dans certaines roches sédimentaires, il est intéressant de signaler le fait que divers cas d'épigénie de ce minéral se produisent de nos jours au sein des mers.

Ce phénomène affecte : 1° des éléments minéraux organisés, tels que la calcite de coquilles de foraminifères et 2° des minéraux détritiques, tels que le quartz et les feldspaths.

Maintenant, la glauconie pigmentaire et la glauconie épigénique sont-elles dues au dépôt du produit de la trituration de glauconie préexistante? Ou bien sont-elles dues à un dépôt de glauconie tenue en solution par un agent quelconqne? Ou enfin faut-il chercher l'explication dans la métamorphose d'un silicate de fer brun, comme dans les cas de moules bruns se changeant en moules verts? La première de ces hypothèses ne peut s'appliquer qu'à la glauconie pigmentaire, car on ne pourrait s'expliquer le remplacement épigénique par l'action mutuelle de deux corps à l'état solide, c'est-à-dire de glauconie toute formée d'une part, et d'une coquille ou d'un minéral, selon les cas, d'autre part.

L'intervention d'un dissolvant permet de trouver une explication assez plausible aux phénomènes d'épigénie, mais ne pourrait guère s'expliquer dans le cas de la glauconie pigmentaire. En effet, dans le premier cas, on comprend assez bien que la glauconie tenue en solution arrive à s'infiltrer dans les pores les plus intimes d'une coquille ou d'un minéral, et arrive même à les remplacer complètement par pseudomor-

1. Cayeux, 2.

phose, dans le cas où ce même dissolvant aurait dissous du même coup les minéraux épigénisés, tout en



Fig. 21. — Au centre de la figure section de coquille dont la calcite est pseudomorphosée par une matière ferrugineuse amorphe. (D'après Collet et Lee.)

déposant à leur place la glauconie qu'il tenait en solution. On conçoit que d'autre part l'explication ci-des-

sus convienne moins bien au cas de la glauconie pigmentaire, car il semble qu'un précipité doive se déposer en couches homogènes et compactes, et non pas sous forme de paillettes noyées dans un ciment; en outre les formes bizarres qu'affectent souvent les traînées de glauconie pigmentaire évoquent à l'esprit la notion d'une matière pulvérulente que de petits remous ou tourbillons forcent à se déposer dans des endroits déterminés.

La troisième hypothèse nous a été suggérée par quelques observations, dont un exemple est donné par la figure 21. Le centre de la figure est occupé par la section d'une coquille dont la calcite est complètement remplacée par une matière ferrugineuse brun-foncé. Le remplacement est ici indubitable, mais à l'encontre de ce qui se passe chez les moules bruns et verts, on ne peut dire si la matière brune est postérieure ou antérieure à la glauconie, cette dernière épigénisant des fragments de coquilles poreuses concurremment avec la matière brune, mais seulement selon une surface plane, ce qui ne permet donc pas de trancher la question, (nous avons observé plusieurs exemples de ce phénomène sur des échantillons de nodules phosphatés jaunes de la station 7, Agulhas Bank, par 238 m. de profondeur).

g. *Formation des grains de glauconie*

Si nous plaçons ici l'étude de cette question, c'est que nous pourrons avoir à recourir à ce qui a été dit dans les chapitres précédents pour arriver aux hypothèses les plus vraisemblables.

C'est un fait bien connu que la glauconie se pré-

sente le plus souvent sous forme de grains arrondis, généralement ovoïdes. Cette forme régulière a toujours intrigué les géologues, et nombreuses sont les hypothèses auxquelles ils ont eu recours pour l'expliquer, ainsi que la taille même des grains, qui dépasse souvent de beaucoup celle qu'auraient les produits du remaniement pur et simple de moules glauconitiques.

Les diverses hypothèses exprimées au sujet de la genèse des grains de glauconie peuvent *grosso modo* se ramener à deux : une école, avec Murray et Renard en tête, admet que les grains dérivent des moules, après brisure de la coquille et accroissement subséquent par apport de matière glauconieuse ; l'autre école, représentée surtout par Gümbel, attribue aux grains une genèse toute différente et indépendante de la matière organisée. Nous renvoyons pour plus de détails au travail original de Gümbel, et nous contenterons de dire ici que si les grains étaient dus au dépôt de glauconie sur l'enveloppe de bulles gazeuses, avec remplissage subséquent, par intussusception, de la coque ainsi formée, il n'y aurait pas de raisons pour que la glauconie seule ait une telle attraction pour les bulles de gaz, et dans ce cas il n'y aurait rien d'étonnant à voir maintes espèces minérales, telles que la pyrite, le manganèse, la phillipsite, etc., obéir à la même loi. Sans apporter une preuve décisive à l'appui de la première manière de voir, nous croyons cependant devoir nous y ranger, en modifiant légèrement la manière dont Murray et Renard expliquent le processus. Comme eux, il nous semble qu'il est parfaitement logique d'admettre que les grains dé-

rivent originellement de moules, mais sans toutefois nier qu'il soit possible que le moule continue à croître, pour ainsi dire, en faisant éclater sa coquille et en perdant ainsi sa forme primitive, nous pensons qu'il nous sera permis d'offrir une explication un peu différente, qui nous a été suggérée par le grand rôle que paraissent jouer la glauconie pigmentaire et la glauconie épigénique.

En effet, supposons que des moules aient perdu leur coquille et se trouvent placés dans un endroit où l'une des variétés de glauconie, pigmentaire ou épigénique, soit justement en train de se déposer ou de s'élaborer. Or, puisque cette glauconie peut souder entre elles des particules de calcite et imprégner les fissures de fragments de quartz, etc., pourquoi ne pourrait-elle souder entre eux des fragments de moule? Cela supposé, le roulement et le frottement avec les autres corps solides déposés au fond de la mer donneront à cet aggloméral la forme arrondie et l'aspect luisant si caractéristiques des grains de glauconie.

Nous voyons de suite les objections que l'on pourrait faire à cette manière de voir, objections du reste déjà formulées par Gümbel[1] : l'examen d'une préparation contenant des grains de glauconie ne révèle au microscope la présence ni du ciment ni de lignes de suture. Avant d'y répondre nous prions le lecteur de ne pas perdre de vue la plus caractéristique de toutes les propriétés physiques de la glauconie : c'est-à-dire que cette dernière est *cryptocristalline.* Cela posé, supposons de nouveau deux ou plusieurs frag-

1. Gümbel, **3**, p. 435.

ments de moules ; chacun de ces fragments est composé d'une multitude de particules *diversement orientées*. Maintenant, le ciment glauconieux qui vient souder les fragments de moules, est lui aussi formé de particules diversement orientées, de sorte que cette espèce d'hétérogénéité dans la structure intime, des fragments comme du ciment, *doit donc masquer toute ligne de suture.*

h. *Associations minérales*

Les minéraux qui accompagnent la glauconie dans ses divers gisements peuvent être ou bien détritiques ou bien secondaires, c'est-à-dire s'être formés *in situ* au fond de la mer.

Des minéraux détritiques le *quartz* est celui qui joue de beaucoup le plus grand rôle ; il va de soi qu'il se rencontre en toutes proportions, et dans le cas des sables verts il est le principal constituant de ce sédiment. Il se présente en grains dont le diamètre varie d'une fractionde centième de mm. à 1 et même 2 mm., avec une moyenne assez constante de 0.3 mm. Ce n'est que rarement qu'ils sont roulés et arrondis ; en général leurs arêtes sont tranchantes ou seulement émoussées. Ils sont le plus souvent libres, et dans le cas de concrétions phosphatées, isolés au milieu du ciment ; nous n'avons observé qu'exceptionnellement des grains de quartz réunis entre eux au moyen d'un ciment siliceux : ils prennent alors en lumière parallèle l'apparence de larges plages qui se résolvent entre nicols croisés en une mosaïque à éléments diversement orientés.

Les autres minéraux détritiques jouent un rôle

tout à fait subordonné ; le zircon et la tourmaline sont pour ainsi dire toujours présents, mais au nombre de quelques grains seulement par coupe. Les feldspaths, en cristaux plus petits que les grains de quartz, appartiennent, comme nous l'avons fait remarquer dans un travail précédent, aux plagioclases, et, chose digne de remarque, leur composition ne s'écarte en général guère de celle d'un labrador plus ou moins basique. *Le parfait état de fraîcheur de ces cristaux prouve qu'ils sont remarquablement réfractaires à l'action des agents chimiques de l'eau du fond des mers, ce qui est juste le contraire dans le cas des feldspaths potassiques : ces derniers sembleraient donc avoir été complètement dissous avant d'avoir pu arriver à la zone de sédiments où la glauconie se forme.* En effet, dans toutes les coupes étudiées nous n'avons observé qu'un ou deux cristaux pouvant se rapporter à l'orthose, et encore ces derniers étaient-ils complètement kaolinisés. Le mica aussi est fortement décomposé ; il perd toute biréfringence et prend un aspect terreux, et ne se reconnaît qu'à sa forme.

Depuis Murray et Renard les géologues sont à peu près tous d'accord pour admettre que les feldspaths et les micas potassiques fournissent, en se décomposant, la potasse nécessaire à la formation de la glauconie ; or, ces minéraux terrigènes ne pouvant être transportés jusqu'à la zone de l'argile rouge on comprend alors que ces régions abyssales soient pauvres en potasse, et partant dépourvues de glauconie.

Outre les espèces minérales énumérées plus haut, on en rencontre d'autres, telles que rutile et hornblende, mais en proportion minime, et variant avec la na-

ture des côtes voisines du gisement glauconieux.

Les matières minérales *secondaires* associées à la glauconie sont surtout représentées par le carbonate et le phosphate de chaux. Les fragments et particules de calcite sont toujours dus à la destruction d'organismes calcaires ; cela est indubitable dans le cas des gros fragments, où la structure organique est souvent reconnaissable, et quant aux particules, qui sont un des constituants des boues d'une part, et du ciment de certaines concrétions d'autre part, leur origine organique ne peut non plus faire l'objet d'aucun doute. En effet, du carbonate de chaux précipité chimiquement par des actions lentes prendrait une forme cristalline régulière, tandis que ces paillettes, examinées aux forts grossissements, montrent des formes irrégulières et déchiquetées.

Sans vouloir revenir ici sur la question du phosphate de chaux, nous tenons cependant à appuyer sur ce fait qu'il n'est jamais individualisé sous forme de cristaux ; avec ou sans le concours de particules de calcite, il sert de ciment aux minéraux détritiques et à la glauconie englobés dans les concrétions phosphatées.

Enfin, nous pouvons placer la pyrite parmi les minéraux secondaires accompagnant la glauconie, mais comme elle s'y trouve fréquemment à l'état d'inclusions, nous développerons cette question dans le chapitre suivant.

i. *Inclusions minérales.*

Tous les minéraux caractéristiques du sédiment où la glauconie a été recueillie peuvent se trouver au

milieu de grains ou de moules de cette dernière à l'état d'inclusions.

Chez les moules les inclusions sont plutôt rares et naturellement d'une taille ne dépassant pas le diamètre des orifices qui leur ont donné passage. Au contraire, chez les grains les inclusions de quartz, calcite, etc. peuvent avoir un volume qui dépasse quelquefois le quart de celui du grain même. Nous tenons spécialement à attirer l'attention sur ce fait, qui est un argument en faveur de l'explication que nous avons donnée touchant la formation des grains de glauconie marine. Si, partant de la notion que cette dernière est engendrée dans les loges des foraminifères, l'on trouve des inclusions trop volumineuses pour qu'il leur eût été possible de pénétrer dans ces loges, c'est que ces éléments étrangers auront été englobés en même temps que les fragments de moules par le ciment glauconieux que nous faisons intervenir dans le chapitre traitant de la genèse des grains. De telles inclusions sont assez fréquentes, et si l'on envisage leur origine comme nous venons de le faire, cela n'a rien que de très naturel, et prouve que la glauconie peut fonctionner comme un ciment qui se fusionne sans traces de différenciation avec les éléments qu'il empâte. Ainsi, l'objection élevée par Gümbel, c'est-à-dire que les grains de glauconie ne montrent rien dans leur structure rappelant un ciment ou des lignes de suture, doit donc tomber.

La pyrite et la magnétite se rencontrent parfois dans les grains et moules de glauconie ; la première est soit en cristaux bien définis, soit sous forme d'une poussière disséminée dans la glauconie ; dans ce der-

nier cas il est difficile de la reconnaître au moyen de sa couleur en lumière réfléchie, et pour la distinguer



Fig. 22. — Moule glauconitique contenant des inclusions opaques. Sable vert par 750 mètres. (D'après Collet et Lee.)

de la magnétite nous avons utilisé l'inégale action des acides nitrique et chlorhydrique sur ces deux minéraux. Quant à la magnétite, nous ne l'avons pas ob-

servée sous forme de cristaux ; tous les exemples que nous en connaissons sont en petits amas informes.

Cette présence de minéraux essentiellement ferrugineux au sein de la glauconie pourrait faire croire qu'il y a entre eux un rapport de consanguinité et que l'un procède de l'autre ; toutefois nous pensons qu'il n'en est pas ainsi. En effet, quand la pyrite se présente sous forme de cristaux ces derniers ne présentent aucun exemple de corrosion ou digestion, et la glauconie qui est en contact immédiat avec eux ne diffère en rien du reste de la masse, de sorte que si la glauconie avait emprunté son fer à la pyrite, elle devrait être plus foncée, plus biréfringente, etc., au voisinage de cette dernière qu'ailleurs. Le même raisonnement s'applique au cas de la magnétite.

Une chose frappante est que ces inclusions de pyrite et de magnétite sont beaucoup plus fréquentes chez la glauconie des terrains sédimentaires que chez la glauconie actuelle, du moins en ce qui concerne les échantillons, très nombreux du reste, que nous avons eus entre les mains. Il nous semble que dans le cas de la glauconie sédimentaire il faut admettre, avec M. Cayeux, que cette dernière, même au sein d'une roche consolidée, jouit d'une mobilité considérable qui permet l'introduction de ces minéraux. Pour ce qui est de la glauconie actuelle, on a affaire ou bien à de simples inclusions, ou bien, dans le cas où les cristaux de pyrite sont bien délimités et ne paraissent pas avoir subi l'action des agents de transport, à une genèse simultanée de la glauconie et de la pyrite, ce qui confirmerait les vues de Murray et Renard, sur le rôle du soufre dans la production de la glauconie.

k. *Décomposition de la glauconie.*

C'est un fait bien connu que, sous certaines conditions mal connues, la glauconie est instable et se transforme en une matière ocreuse. Le manque de connaissances regardant la nature de l'eau des boues marines fait que l'on ne sait pas quel est l'agent auquel cette décomposition est due ; quant à la glauconie des roches sédimentaires, dans certaines localités où elle se trouve en grande abondance, elle peut se décomposer sur une vaste échelle. En fait, deux monographies ont été écrites sur des gîtes de minerai de fer, devant leur origine à cette cause. La première est celle de M. K. GLYNKA[1], sur certains gisements de Russie ; la seconde, due à M. SPURR[2], traite des roches ferrifères de la chaîne de Mesabi, Minnesota. Ces deux auteurs sont d'accord pour attribuer aux eaux telluriques l'action décomposante, mais sans spécifier quel est l'agent actif qu'elles contiennent, bien que d'après une expérience de M. GLYNKA, de la glauconie ait perdu, après avoir été plusieurs mois en contact avec de l'eau et de la neige : CaO, K^2O, MgO et Fe^2O^3, le produit final étant une argile ferrugineuse (la glauconie de M. GLYNKA différant beaucoup par sa composition de la glauconie marine). Dans les cas étudiés par M. SPURR la décomposition va encore plus loin, le produit final étant des couches alternativement formées de silice et de limonite. Il semblerait donc ressortir de cela que la décomposition est

1. GLYNKA.
2. SPURR.

surtout due à la perte de cet élément important : la potasse. Une chose qui prouve que les eaux doivent contenir un principe spécial pour opérer cette décomposition, c'est que la glauconie se comporte à ce point de vue d'une façon qui varie avec les localités où elle a été recueillie, cela aussi bien pour la glauconie marine que pour la glauconie des terrains sédimentaires. Ainsi la glauconie analysée par nous et récoltée par le *Tuscarora* par 38° 32′ de lat. N. et 123° 24′ de long. W., est d'une fraîcheur parfaite, tandis que dans un échantillon de sable vert identique à tous les points de vue, dragué par 39° 16′ de lat. N. et 124° 43′ de long. W., la glauconie montre de manifestes traces de décomposition, affectant presque tous les grains de l'échantillon.

M. Cayeux[1] a montré récemment que le minerai de fer de Grandpré (Ardennes), subordonné à l'aptien et connu sous le nom de *minerai de fer hydroxydé oolithique*, s'était formé aux dépens d'un dépôt originellement très glauconieux. Comme le fait remarquer ce savant, c'est le seul minerai de fer de France qui dérive directement de la glauconie. Les minéraux les plus répandus dans cette formation sont la *glauconie* et la *limonite*. Le premier de ces éléments, comme le montre l'étude micrographique de M. Cayeux, paraît moins répandu que le second et présente un maximum d'intérêt quand il est en voie d'altération. Ses principales manières d'être sont les suivantes :

1. « Certains individus, dont la couleur verte vire au brun à la surface, n'ont subi qu'un léger commen-

1. Cayeux.

cement d'altération; d'autres, essentiellement ferrugineux, montrent, au milieu de la matière brune qui les envahit, de petits noyaux verts très irréguliers qui ont échappé à la destruction.

2. L'altération est localisée sur le bord de larges fentes qui traversent les grains.

3. « Elle se fait simultanément en divers points isolés, répartis à l'intérieur des éléments, et le pourtour reste intact ou non. »

4. « La transformation n'affecte que la région centrale des corps glauconieux et la surface ne subit aucune décomposition.

5. « Des grains deviennent vert brunâtre, par suite d'un commencement d'altération de tout le minéral. Il existe de nombreux termes de passage entre les individus franchement verts et les éléments ferrugineux qui constituent le minerai. »

Il résulte donc de ces diverses manières d'être de la glauconie, que tous les minéraux partiellement ferrugineux, correspondent à des grains de glauconie, qui ont été plus ou moins décomposés et transformés en *limonite*. Bien que la plus grande partie des grains de ce dernier élément ne laissent voir aucun vestige de glauconie, M. Cayeux estime que toute la limonite du dépôt doit dériver de ce minéral. Il base cette assertion sur les faits suivants :

1. « Les grains de limonite ont la même forme et le même volume que ceux de glauconie ! »

2. « On retrouve dans tous les individus exclusivement ferrugineux la structure grenue dont j'ai noté l'existence dans la glauconie intacte ou en voie de décomposition. »

3. « Quand on fait séjourner le minerai dans l'acide chlorhydrique chaud pendant quelques minutes, le liquide se charge rapidement d'oxyde de fer, les éléments ferrugineux perdent leur couleur brune et verdissent peu à peu, pour prendre finalement l'apparence de grains de glauconie. D'où le fond même de tous les corps ferrugineux est un élément glauconieux, masqué par la limonite secondaire qui en procède par décomposition. »

Nous avons effleuré ce sujet pour être complet, mais, nous tenons à le répéter, on ne pourra en donner une explication satisfaisante que lorsqu'on aura obtenu et analysé l'eau même qui imprègne le sédiment.

§ 2. — *Composition chimique.*

De toutes les analyses citées par Gümbel, Dana, Hintze, Lacroix, etc., il n'y en a pas deux qui concordent; cela provient évidemment du fait que la glauconie ayant une densité variant de 2,2 à 2,8, il est pour ainsi dire presque impossible d'opérer sur un matériel vraiment pur, surtout exempt de quartz. Dans le tableau ci-contre, nous donnons le résultat de 8 analyses récentes, qui sont bien loin de concorder entre elles; néanmoins elles valent la peine d'être discutées.

Les six premières analyses ont été faites sur la glauconie des mers actuelles, les deux dernières sur de la glauconie de roches sédimentaires.

Le matériel utilisé pour les analyses du « Challenger » était loin d'être pur ou plutôt homogène. Les moules glauconitiques des organismes calcaires sont

No.	SiO^2	Al^2O_3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	K^2O	Na^2O	H^2O	Total	
1	56.62	12.54	15.63	1.18	1.69	2.49	2.52	0.90	6.84	100.41	Glauconie des mers actuelles
2	50.85	8.92	24.40	1.66	1.26	3.13	4.21	0.25	5.55	100.23	
3	51.80	8.67	24.21	1.54	1.27	3.04	3.86	0.25	5.68	100.32	
4	55.17	8.12	21.59	1.95	1.34	2.83	3.36	0.27	5.76	100.39	
5	27.74	13.02	39.93	1.76	1.19	4.62	0 95	0.62	10.85	100.68	
6	46.90	4.06	27.09	3.60	0.20	0.70	6.16	1.28	9.25	99.24	
7	40.00	13.00	16.81	10.17	1.97	1.97	8.21	2.16	6.19	100.48	Glauconie des roches sédimentaires
8	52.86	7.08	7.20	19.48	tr.	2.90	2.23	tr.	8.43	100.18	

N° 1-5, Analyses du « Challenger » [1], N° 6, Glauconie de l'Agulhas Bank [2], N° 7, Glauconie d'Antrim, Hoskins [3], N° 8, Glauconie de French Creek, Knerr et Schœnfeld in Dana [4].

de différentes couleurs, suivant l'état plus ou moins avancé de la formation de la glauconie. Murray et Renard ont distingué des moules blancs, gris, jaunes, vert pâle et vert foncé. A notre avis les moules blancs, gris, jaunes, vert pâle, doivent être envisagés comme de la glauconie en voie de formation, les moules vert foncé étant seuls formés par de la glauconie typique.

Le n° 1 contenait :

65 % de moules blancs, gris et quelques jaunes.
20 — — vert pâle.
11 — — vert foncé.
4 — de minéraux et organismes siliceux.

1. Murray, 13.
2. Gümbel, 3.
3. Hoskins.
4. Dana, 1.

Le n° 2 contenait :

15 °/o de moules blancs, gris et jaunes.
35 — — vert pâle.
45 — — vert foncé.
5 — de minéraux et organismes siliceux.

Le n° 3 contenait :

10 °/o de moules blancs, gris et jaunes.
25 — — vert pâle.
60 — — vert foncé.
5 — de minéraux et organismes siliceux.

Le n° 4 contenait :

30 °/o de moules blancs, gris et jaunes.
40 — — vert pâle.
20 — — vert foncé.
10 — de minéraux et organismes siliceux.

Aucune description du matériel du n° 5 n'est donnée, mais il était probablement composé de glauconie décomposée, comme nous le verrons plus loin.

Les analyses du « Challenger », spécialement le n° 1, montrent une forte teneur en silice, sauf le n° 5, où nous avons probablement un cas de décomposition, et où, comme nous le verrons dans le chapitre de la décomposition, la silice est balancée par une forte augmentation de fer ferrique.

Le fer ferreux dans ces analyses varie de 1,18 à 1,95, tandis que le fer ferrique varie de 15,63 à 39,93. Dans les deux analyses de glauconie de roches sédimentaires, la teneur du fer ferreux augmente consi-

dérablement et atteint 19,48 % dans le n° 8, et 10,17 % dans le n° 7, cette dernière analyse ayant été faite sur de la glauconie triée et vert foncé.

Nous voyons donc une grande différence entre la composition de la glauconie des mers actuelles et celle des roches sédimentaires.

Ayant eu la bonne fortune de rencontrer, parmi les importantes collections du « Challenger Office », le plus pur échantillon de glauconie actuelle qui ait jamais été trouvé, nous en avons fait une étude microscopique très détaillée, accompagnée d'une analyse quantitative. Ce matériel fut dragué en 1873 par le « Tuscarora » à une profondeur de 317 mètres, au point lat. N. 38° 32′, long. W. 123° 24′ ; il se composait de grains vert foncé sans aucune trace de décomposition, et de grains de quartz qui ont été séparés au moyen d'un puissant électro-aimant.

L'analyse nous a donné les résultats suivants :

SiO^2	=	47,46 %
Fe^2O_3	=	30,83 —
Al_2O^3	=	1,53 —
FeO	=	3,10 —
MgO	=	2,41 —
K_2O	=	7,76 —
H^2O	=	7,00 —
Total	=	100,09 %

L'analyse qui concorde le mieux avec la nôtre est celle de Gümbel (n° 6) ; la forte teneur en silice et en alumine des analyses du « Challenger » s'explique par le fait de la présence de moules blancs et gris dans la substance analysée, ces moules étant en grande

partie constitués par de l'argile. La présence de CaO et de Na^2O avait déjà été attribuée, avec raison, par plusieurs auteurs à des impuretés, ce que confirme notre analyse qui pourra désormais servir de type. *La glauconie étant un minéral se formant aujourd'hui sur le fond des mers, ce n'est pas la glauconie des roches sédimentaires, qui certainement a subi des transformations, qu'il faut étudier pour connaître la genèse de cet intéressant minéral.*

Dans leur intéressant travail, *Contributiones al Estudio de la glauconita*, MM. Calderon et Chaves[1], donnent une synthèse de la glauconie, qui malheureusement est basée sur les résultats d'une analyse de Pisani, faite à un moment où dans la glauconie on dosait tout le fer à l'état ferreux; erreur due, comme l'a fait remarquer Gümbel[2], déjà en 1886, à la couleur verte de ce minéral.

La question de la synthèse de la glauconie est donc loin d'être résolue, et c'est de la glauconie actuelle qu'il faudra désormais partir et non de la glauconie de roches sédimentaires, comme l'ont fait MM. Calderon et Chaves. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette synthèse dans un chapitre spécial.

§ 3. — *Formation de la glauconie.*

Absence et présence de la glauconie dans les dépôts marins. — Avant d'attaquer le problème de la formation de la glauconie, nous voulons essayer de dis-

1. Calderon et Chaves.
2. Gümbel, 3.

cuter l'absence ou la présence de ce minéral parmi les dépôts marins.

Comme nous l'avons vu précédemment, la glauconie est généralement présente dans les boues bleues, mais ne peut, en aucune façon, en être considérée comme caractéristique.

Grâce à un travail de grande valeur de Murray[1] et Irvine, intitulé *On the Chemical Changes which take place in the Composition of the Sea-water associated with Blue Muds on the Floor of the Ocean,* nous pouvons désormais comprendre que la glauconie se rencontre en petite quantité dans les boues bleues.

D'après ces savants, les réactions dont les boues bleues sont le théâtre sont les suivantes : la matière organique en décomposition réduit les sulfates, en solution dans l'eau de mer, en sulfures, qui sont subséquemment décomposés par l'anhydre carbonique précédemment formé ; *ainsi le soufre de l'acide sulfurique* présent comme sulfate de chaux ou de magnésie dans l'eau de mer est retiré et fixé dans la boue à l'état de sulfure de fer (FeS), tandis que l'anhydride carbonique prend la place de l'acide sulfurique et une certaine quantité de bicarbonate de chaux est formé, proportionnellement au soufre extrait de l'eau de mer.

Ces réactions, confirmées par des expériences de laboratoire, peuvent se représenter comme suit :

$$(1) \qquad RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS,$$

où R est un métal alcalino-terreux.

1. Murray, 15.

(2) $RS + 2CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3CO^2$

(3) $RS + RCO^3CO^2 + H^2O = 2RCO^3 + H^2S.$

Cet hydrogène sulfuré rencontrant de l'oxyde ferrique présent dans la couche superficielle de la boue donnera lieu à la réaction suivante :

(4) $Fe^2O^3 + 3H^2S = 2FeS + S + 2H^2O.$

De cette façon une partie du soufre est fixée dans la boue comme sulfure de fer. S'il n'y a pas assez de fer dans la boue pour fixer tout l'hydrogène sulfuré formé en (3), ce dernier s'échappe dans l'eau de mer, et rencontrant de l'oxygène, s'oxydera pour donner de l'acide sulfurique et de là un sulfate (RSO^4).

Dans la Mer Noire[1], où nous avons en quelque sorte une exagération des phénomènes se passant dans les boues bleues, nous ne trouvons aucune trace de glauconie, tout le fer étant précipité à l'état de sulfure, l'hydrogène sulfuré étant en excès sur ce dernier métal.

M. Chaves[2], continuant ses investigations synthétiques au sujet de la glauçonie, décrit dans une note intitulée *Contribucionnes à la sintesis de los silicatos ferriferos por via humeda* les produits résultant de l'action durant vingt mois d'un silicate de soude sur du sulfure ferreux préparé artificiellement. Ce savant obtint : 1° formation de cristaux de sulfate de soude ; 2° dépôt de grains blancs insolubles dans l'eau, solubles dans l'acide nitrique en laissant un résidu blanc de silice pulvérulente ; la dissolution contenant

1. Murray, 23.
2. Chaves, 2.

du fer ; 3° formation d'un dépôt gris verdâtre, pulvérulent, cristallin sous le microscope, soluble dans l'acide nitrique et offrant les mêmes propriétés que le précédent.

Ces expériences démontrent qu'on peut obtenir un silicate de fer en partant du sulfure et d'un silicate de soude, le sulfure de fer donc n'a pas même besoin d'être oxydé en sulfate pour être combinable à la silice.

Le sulfure de fer des boues bleues semble incapable de former du silicate de fer ; la silice en solution ne doit pas manquer, c'est donc l'hydrogène sulfuré qui doit empêcher toute réaction entre le sulfure de fer et la silice en solution. Des expériences de laboratoire nous ont également montré que l'hydrogène sulfuré empêche toute réaction entre le sulfate de fer et le silicate de potasse.

Dans les descriptions des dépôts du « Challenger[1] » nous voyons que beaucoup de boues bleues contiennent des moules glauconitiques parfaits et d'autres en voie de formation. Dans la description du matériel de la station 167 (p. 87) nous relevons ce qui suit : « This deposit contains a great many glauconite grains, which are mostly irregular in form, but would appear to have been at one time perfect casts of foraminifera and other organisms. In some cases the transition can be traced by microscopic examination. » Plus loin, dans la description du matériel de la station 209 (p. 103) nous lisons : « This seems to be a green mud in process of formation. »

Nous ne devons pas oublier qu'il n'y a pas de limite

1. Murray, 13.

marquée entre les boues bleues et les boues vertes, et que les unes passent aux autres insensiblement comme du reste cela se produit pour tous les dépôts marins. Nous pourrons donc dire avec beaucoup de certitude *que la formation de la glauconie dans les boues bleues dépend de la quantité de matière organique présente dans le dépôt et par là d'hydrogène sulfuré.* La matière organique est-elle en faible quantité, le sulfure de fer devient combinable ou transformable en sulfate, et nous avons alors une boue verte avec grande quantité de moules glauconitiques et de grains de glauconie.

La glauconie est presque absente dans les vases à globigérines ; sur 118 échantillons du « Challenger », 13 seulement contiennent ce minéral en de très faibles proportions, à l'exception des stations 140 et 166, *où l'on approche du continent.* Parmi les analyses de vases à globigérines du « Challenger » nous en trouvons 5 seulement avec une relativement forte teneur en oxyde ferrique (variant de 6,16 °/₀ à 20,93 °/₀) ; ce sont celles du matériel des stations 12, 16, 17, 293, 176, qui contiennent toutes des nodules de manganèse ou de la palagonite, ce qui nous prouve que le fer s'est déposé sous des conditions tout autres que dans le cas des boues bleues.

Comme l'ont fait remarquer Murray et Renard, on ne trouve pas de glauconie dans les boues rouges des côtes du Brésil et la mer Jaune où la limonite amenée de l'intérieur des terres par l'Amazone, l'Orénoque et le Yang-tsé-Kiang est en quantité considérable. Ce fait de totale absence de glauconie est très étonnant, car il y a certainement assez de matière organique

dans ces boues pour produire des réductions; néanmoins nous ne pourrons expliquer d'une façon satisfaisante l'absence de la glauconie dans ces dépôts *que lorsque nous pourrons étudier l'eau de mer associée aux dépôts marins, étude qui seule pourra nous renseigner sur les réactions chimiques qui ont lieu au fond de la mer.*

Nous saisissons l'occasion de recommander cette étude aux stations marines et aux expéditions futures à la recherche de nouveautés ; le problème sera difficile, il faudra inventer de nouveaux appareils, mais les résultats récompenseront les efforts faits.

En résumé, nous pouvons dire que le fait de la présence ou de l'absence de la glauconie dans les *dépôts terrigènes* est intimement lié à la faible ou forte teneur en matière organique ; cette dernière, comme nous l'avons vu, donnant lieu à d'importantes réactions. Les « dépôts pélagiques » ne contiennent pas de glauconie parce qu'ils manquent d'un des constituants importants, la potasse.

La glauconie est donc une caractéristique des dépôts terrigènes en général et des boues vertes et sables verts en particulier.

Formation de la glauconie. — Depuis l'explication de la formation de la glauconie, donnée par Murray et Renard dans le volume des *Deep-Sea Deposits* des Reports du « Challenger », un seul travail traitant de la synthèse de ce minéral est venu enrichir la bibliographie. Il est dû à la plume autorisée de MM. Calderon et Chaves[1] de Madrid, et est intitulé *Contribuciones al Estudio de la glauconita.*

1. Calderon et Chaves.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer dans un précédent chapitre, ces savants se sont basés sur une analyse de Pisani de glauconie de Villers-sur-Mer ; le fer fut dosé entièrement par cet analyste comme *fer ferreux,* comme du reste on le faisait à cette époque où l'on croyait, comme l'a fait remarquer Gümbel, que la couleur verte de la glauconie impliquait du fer à l'état ferreux.

Basant malheureusement leurs ingénieuses recherches sur cette analyse de Pisani, MM. Calderon et Chaves réussirent à obtenir un silicate ferroso-potassique en faisant réagir du sulfate ferroso-potassique sur du silicate de potasse en présence d'un réducteur. Dans le silicate ainsi obtenu le rapport de l'oxyde ferreux à la silice était de 20,4 à 50,1, ce qui concordait avec l'analyse de Pisani, où ce rapport est de 20,1 à 54,1. Puis partant de l'idée que la glauconie est un silicate ferroso-potassique nécessitant pour sa conservation l'influence d'un milieu réducteur, ces savants pensent que les agents réducteurs à la faveur desquels la glauconie s'est formée sont d'une part la matière gélatineuse qui existe en suspension dans l'eau de mer, d'autre part la substance organisée qui existe dans les chambres de foraminifères et d'autres organismes.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre traitant de la « Composition chimique », la glauconie des mers actuelles doit être envisagée non comme un silicate ferroso-potassique *mais comme un silicate ferrico-potassique.* La belle synthèse de MM. Calderon et Chaves ne nous paraît pas être applicable au cas de la glauconie des mers actuelles.

Revenons à l'explication donnée par MURRAY et RENARD dans les Reports du « Challenger » : ces auteurs supposent que la matière organique renfermée dans la coquille ainsi que celle que contient la boue transforme l'oxyde de fer en sulfure. Ce sulfure peut



Fig. 23. — Moules de foraminifères. 2016 mètres « Nero ». $\frac{15}{1}$.
(D'après J.-M. FLINT)

être oxydé en hydrate, le soufre étant en même temps mis en liberté serait oxydé en acide sulfurique, qui servira à décomposer la fine boue pour former de la

silice colloïde. Cette silice pourra alors se combiner avec l'hydrate de fer pour former un silicate.

Une étude très approfondie des différentes espèces de moules recueillis par le « Challenger » nous a amené à modifier légèrement cette explication fondamentale, en distinguant, dans la formation de la glauconie, trois différentes phases :

1. Le premier stade dans la formation de la glauconie est représenté par les moules gris, composés exclusivement d'argile, c'est-à-dire de silicate d'alumine.

2. Les diverses nuances de moules bruns représentent divers stades dans le remplacement de l'alumine de l'argile par le peroxyde de fer, comme une analyse faite sur des moules bruns nous l'a montré. En outre, ces moules — et nous attirons l'attention sur ce fait — *ne contiennent pas trace de potasse.* Donc le second stade est représenté par un silicate ferrique provenant d'une élimination progressive d'alumine et de son remplacement par de l'oxyde ferrique. Les moules brun clair contiennent encore de l'alumine, les moules bruns en contiennent très peu.

3. Le troisième stade est celui *de la glauconitisation*, si l'on nous passe ce mot, des moules brun foncé. En effet, nous avons décrit au chapitre des « Propriétés physiques » la marche de ce processus ; il nous reste maintenant à l'expliquer. Les vrais moules glauconitiques sont un silicate ferrico-potassique hydraté, tandis que les moules bruns, comme nous venons de le voir, ne contiennent pas de potasse. *La transformation en glauconie est par conséquent connexe de l'introduction de la potasse et aussi probablement de l'entrée de l'eau de constitution.*

Tout ce qui vient d'être dit est basé sur des faits d'observation et non sur des vues de l'esprit. Quelles

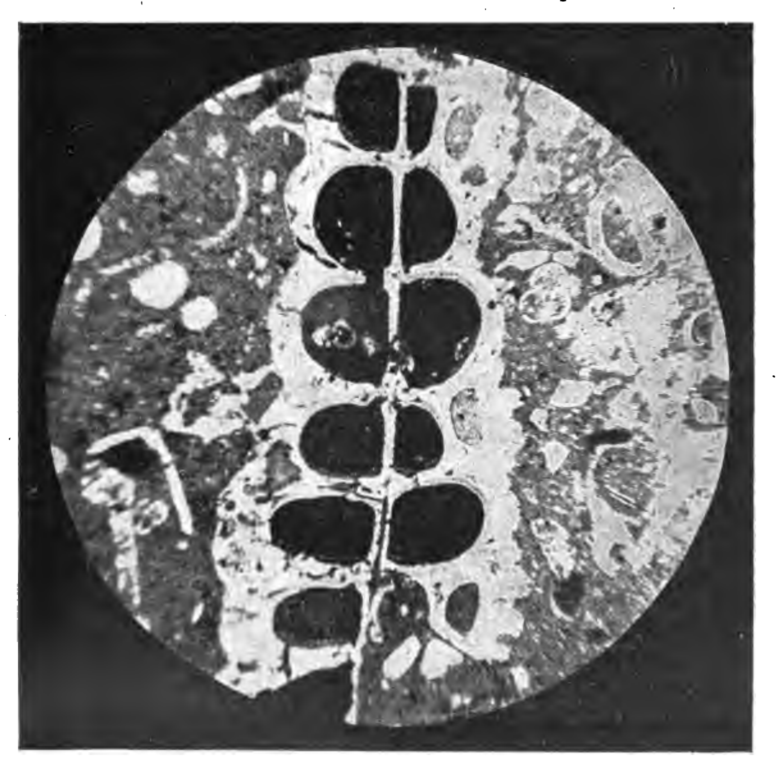


Fig. 24. — Les loges de couleur claire sont glauconitiques, tandis que les autres, brun foncé, ne montrent pas encore de transformation. Nodule phosphaté. (D'après Collet et Lee.)

sont les réactions chimiques qui permettent à la potasse de se combiner au silicate ferrique? Nous ne

pouvons actuellement que poser la question, car il serait oiseux de fatiguer le lecteur en donnant la liste des essais infructueux faits en vue de transformer des moules bruns en moules verts. Nous devons évidemment tenir compte du facteur *temps* et peut-être du facteur *pression*.

Absence de la glauconie dans les lacs. — Parmi les différents problèmes qui se présentent dans l'étude des dépôts marins et lacustres, celui de l'absence de la glauconie dans les boues des lacs n'est pas un des moins intéressants.

En effet, l'absence de ce minéral ne peut être attribuée ni à une raison bathymétrique, ni à une proportion insuffisante de fer, silice et potasse, ces éléments constitutifs de la glauconie se trouvant dans l'eau des lacs.

Depuis les belles découvertes de SENFT et de JULIEN, il nous semble que c'est à l'action des acides organiques (créniques, humiques, etc.) que nous devons faire appel.

JULIEN[1] a montré que des silicates étaient entièrement solubilisés sous forme de sels à radical acide complexe (silico-azo-humate, etc.) *dans l'eau douce* par l'action des dits acides organiques. Il crut pouvoir appliquer cette notion à la formation de la glauconie, mais, comme l'ont montré MURRAY[2] et IRVINE, ces acides organiques, une fois au contact avec l'eau de mer, sont décomposés et précipités.

C'est à la présence des acides du groupe de l'acide

1. JULIEN, p. 363.
2. MURRAY, 14, p. 240, note.

humide, depuis longtemps reconnus dans l'eau des lacs, que l'absence de la glauconie dans les dépôts lacustres nous semble devoir être attribuée.

Comme l'a montré Julien, dans les lacs, le fer est soluble quand il est sous forme de silico-azo-humate ou de crénate *ferreux*. Une oxydation vient-elle à se produire, le fer est précipité sous forme d'oxyde ferrique ou de limonite, avec production d'acide silico-azo-humique soluble et incombinable avec l'oxyde ferrique précipité.

Le fer en solution dans l'eau, grâce à la présence des acides organiques, ne peut donc se combiner à la silice pour donner un silicate ferrique, étant par oxydation immédiatement précipité à l'état d'oxyde. Les dépôts ocreux du Loch Ness (Ecosse) que nous avons eu l'occasion d'étudier nous paraissent devoir être attribués à cette cause.

§ 4. — *La glauconie et les concrétions phosphatées.*

La glauconie et les concrétions phosphatées se forment actuellement sur le fond des mers : existe-t-il une relation entre ces deux formations au point de vue de leur genèse ? Cette question se pose naturellement quand on étudie les dépôts marins, et nous croyons être maintenant en mesure d'y répondre négativement.

Les concrétions phosphatées sont pour ainsi dire l'image du fond dans lequel on les rencontre, ce qui prouve bien leur formation in situ. Ce fond est-il un sable vert, comme dans le cas de l'Agulhas Bank, les concrétions phosphatées contiendront de la glauconie en grande abondance; est-il une boue à globigérines

formée non loin du continent mais en eau profonde (3475 mètres pour un des échantillons du « Challenger »), la concrétion sera entièrement formée de globigérines avec minéraux détritiques mais sans glauconie.

Comme le Dr Lee[1] l'a montré, la glauconie apparaît dans les concrétions phosphatées sous deux états différents : 1°, à l'état de grains arrondis à contours tranchés qui font partie du nodule au même titre que le quartz et les autres minéraux, c'est-à-dire ont été formés avant la formation du nodule ; 2°, à l'état de pigment, ce dernier étant manifestement postérieur au dépôt des autres minéraux.

Cette glauconie pigmentaire doit provenir d'un brassage du dépôt, brassage qui a occasionné la pulvérisation des grains de glauconie. Ce brassage du fond peut être causé par un courant, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de faire intervenir une force très grande, car il ne faut pas oublier que la glauconie actuelle s'écrase facilement sous l'ongle. La glauconie ainsi pulvérisée en particules microscopiques peut être tenue en suspension dans l'eau, et les conditions de mouvement venant à s'arrêter elle pourra être précipitée sur le fond ou remplira des fissures de concrétions. Un excellent exemple de ce mode de formation nous est donné dans une des concrétions de l'Agulhas Bank[2] où nous voyons une ligne noire de 1/2 mm. d'épaisseur qui n'est autre qu'un dépôt de glauconie pigmentaire, comme l'ont prouvé nos dernières recherches.

1. Lee 1.
2. Collet, 1, fig. 3, p. 870.

Le Dr Collet faisait remarquer l'an dernier que la partie brillante et non recouverte d'organismes des



Fig. 25.— Nodule phosphaté. Le ciment est teinté en vert par de la glauconie digmentaire et se propage à l'intérieur des coquilles de foraminifères, constituant ainsi de faux moules. (D'après Collet et Lee).

concrétions phosphatées devait se trouver dans la vase, tandis que la partie recouverte d'organismes et

de couleur grise était exposée dans l'eau. Quelques-unes d'entre les grosses concrétions des stations 11 et 12 étaient entièrement recouvertes d'organismes, ce qui prouverait non que ces grosses concrétions aient été changées de place sur le fond de la mer, *mais plutôt un changement dans le niveau du fond, changement qui peut provenir de l'action plus ou moins forte des courants.*

Les concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank nous autorisent donc à admettre l'idée d'un brassage du fond ayant occasionné la pulvérisation de la glauconie en grains.

M. Gosselet [1], dans son intéressant mémoire sur *La Sédimentation de la craie*, fait remarquer que la couleur verte des bancs durcis et des galets est due à de la glauconie. « Ce n'est pas, comme on pourrait le croire, un simple placage à la surface du calcaire. La glauconie pénètre dans la roche jusqu'à une certaine profondeur », écrit ce dernier auteur.

Plus loin ce savant fait remarquer l'analogie de l'enveloppe glauconieuse avec le vernis brun phosphaté des nodules roulés de la craie dure dans la craie phosphatée, et admet que l'un et l'autre ont pris naissance pendant le roulis par les courants.

Il nous paraît exister une certaine relation entre l'enduit glauconitique des bancs durcis de M. Gosselet et la glauconie pigmentaire de certaines concrétions phosphatées, glauconie qui, comme nous l'avons démontré, est le résultat d'un brassage ou d'un roulis dû à des courants.

1. Gosselet, 2.

Nous ne voulons pas terminer ce chapitre sans relever cette phrase importante de M. Gosselet [1] dans son mémoire sur les *Observations géologiques faites dans les exploitations de phosphate de chaux* : « Or les couches de craie phosphatée sont au milieu de la craie blanche ; elles alternent avec les couches de craie blanche, elles passent latéralement à la craie blanche. La conséquence logique est que la craie blanche n'est pas un dépôt de mer profonde. C'est une conclusion importante, si on songe que l'idée de voir dans la craie un dépôt de mer profonde, est un des arguments en faveur de l'instabilité des continents et contre la permanence des océans ».

Nos études des concrétions phosphatées et de la glauconie des mers actuelles nous permettent de confirmer les thèses de M. Cayeux [2] et de M. Gosselet sur la question si discutée de la formation de la craie.

Des dépôts renfermant des concrétions phosphatées et de la glauconie ne sont pas des dépôts de mer profonde.

§ 5. — *Distribution de la glauconie dans les mers actuelles.*

En 1856 Bailey, après une étude des échantillons collectés par le comte Pourtalès le long de la côte atlantique de l'Amérique du nord, fut le premier à faire remarquer que la glauconie se formait actuellement en plusieurs endroits sur le fond des mers actuelles.

1. Gosselet, 1.
2. Cayeux, 2.

De 1873 à 1876 le « Challenger » trouva de la glauconie dans les dépôts de mers profondes (deep-sea deposits), et MURRAY[1] et RENARD, dans leur célèbre volume des *Reports* du « Challenger » indiquèrent la répartition de cet intéressant minéral dans les dépôts des mers actuelles.

Nous trouvons en effet la glauconie dans les boues bleues (Blue Muds), les boues vertes (Green Muds), les sables verts (Green Sands), qui appartiennent à ce que MURRAY et RENARD ont appelé les dépôts terrigènes (Terrigenous Deposits) formés dans des eaux profondes en dehors de la ligne de 100 brasses (183 mètres). La glauconie fut également rencontrée dans les boues à globigérines, mais en faible quantité, car sur 118 échantillons du « Challenger » 13 seulement contenaient ce minéral.

a. *Glauconie dans les boues bleues.*

MURRAY et RENARD appelèrent boue bleue, un dépôt qu'on rencontre en eau profonde entourant le continent. La couleur bleue est due à la présence de matière organique et de sulfure de fer.

On trouve la glauconie dans les boues bleues sous deux aspects différents : à l'état de moules (casts) d'organismes calcaires et à l'état de grains parmi les particules minérales.

La loi suivante peut être formulée : La glauconie est généralement présente dans les boues bleues, *mais ne peut en aucune façon être considérée comme carac-*

1. MURRAY, 13.

téristique, étant en quantité minime comparativement à celle des boues vertes et des sables verts.

Il serait trop long d'énumérer ici chaque point où la glauconie a été trouvée dans des boues bleues, mais nous dirons néanmoins qu'elle fut rencontrée associée à des concrétions phosphatées dans les dragages du « Challenger » entre les îles Falkland et le Rio de la Plata. Ce minéral fut également trouvé à quatre stations différentes dans des boues bleues à proximité des glaces antarctiques (env. 65° S.), et Sir John MURRAY[1] écrivait en 1894 : Its presence in the Blue Muds of the far south is therefore most suggestive of an Antarctic Continent.

Parmi les boues collectées par la récente expédition écossaise de la *Scotia*[2] la glauconie est rare et se trouve seulement à l'état de moules de foraminifères.

Dans les échantillons de boues envoyées à Sir John MURRAY[3] par le professeur N. ANDRUSSOW, collectées dans la mer Noire par les expéditions russes en 1890 et 1891, *il n'y avait pas trace de glauconie.*

b. *La glauconie dans les boues vertes et les sables verts.*

La glauconie en grains et en moules d'organismes calcaires est la matière caractéristique des boues vertes et des sables verts. On rencontre aussi dans ces dépôts une matière amorphe verte, organique, car elle devient noire après avoir été chauffée sur la lame

1. MURRAY, 16.
2. PIRIE, 1.
3. MURRAY, 23.

de platine et laissant ensuite une cendre colorée en brun pur de l'oxyde de fer[1].

Les sables verts diffèrent des boues vertes par leur aspect granuleux, dû à une plus petite quantité de matière amorphe; généralement on les rencontre dans des eaux moins profondes que les boues. Le tableau suivant donne une idée de la différence qui existe entre les boues bleues, les boues vertes et les sables verts.

COMPOSITION MOYENNE DES BOUES BLEUES, DES BOUES ET DES SABLES VERTS, D'APRÈS MURRAY ET RENARD

		Boues Bleues		Boues Vertes		Sables Verts	
Carbonate de Chaux	Foraminifères pélagiques.	7.52		14.59		21.00	
	Espèces vivant sur le fond.	1.75		2.94		15.00	
	Autres organismes . . .	3.21		7.99		13.78	
			12.48		25.52		49.78
Résidu	Organismes siliceux. . .	3.27		13.67		8.00	
	Minéraux	22.48		27.11		30.00	
	Parties fines	61.77		23.70		12.22	
			87.52		74.48		50.22
			100.		100.		100.

Les boues vertes et les sables verts sont presque toujours développés le long des côtes escarpées et exposées, où aucun grand fleuve n'apporte des matières détritiques dans la mer, à une profondeur n'excédant généralement pas 2000 mètres.

Quand il y a une grande quantité d'hydrate ferrique

1. Au cours d'expériences faites récemment pour le compte de Sir John Murray, le Dr Lee a observé que cette matière est en partie dissoute par l'éther ou le chloroforme, avec formation d'une belle solution verte. (Communication à l'auteur.)

dans un dépôt, comme le long des côtes du Brésil, ou quand les dépôts sont principalement formés d'éléments détritiques fluviatiles, la glauconie est généralement absente ou très rare.

Depuis l'expédition du « Challenger », presque toutes les collections de dépôts rapportées par les expéditions ou les bateaux de différents services ont été examinées au « Challenger Office », sous la direction de Sir John Murray, par MM. James Chumley et Robert Dykes; il nous paraît utile de dire quelques mots sur la distribution actuelle des boues vertes et des sables verts, attendu que nous disposons de documents entièrement inédits.

Océan Atlantique nord

1873. Le « Challenger » trouva des boues vertes et des sables verts le long des côtes du Portugal et de l'Espagne, du point lat. 38°31′ N., long. 9°31′ W., au point lat. 36° 25′ N., long. 8° 12′ W. Ils proviennent, sauf deux exceptions, de profondeurs inférieures à 1000 brasses (1830 mètres).

1880. Les mêmes formations furent rencontrées par le « Blake[1] », le long de la côte des Etats-Unis entre le cap Hatteras et la latitude 31° 48′ N., à une profondeur variant de 91 à 183 mètres; c'est-à-dire sur le bord continental du Gulf Stream sur la ligne de séparation entre les sables siliceux et les fonds calcaires, à l'endroit où le courant était le moins rapide.

Çà et là ces mêmes sables verts furent dragués en

1. Agassiz, 1.

eau plus profonde sous le courant même. Nous trouvons associés avec ces dépôts des nodules de manganèse et des concrétions phosphatées. Un autre gisement fut trouvé par le « Blake » au point lat. 21°2′N. long. 74°44′W., devant Bayo de Moa, à une profondeur de 2842 mètres.

1883. Le « Dacia », croisant dans l'Atlantique nord, dragua ces mêmes dépôts au point lat. 31°48′ 30″ N., long. 10° 5′ W., par 400 mètres.

1886. Le « Buccaneer » trouva des sables verts le long de la côte occidentale de l'Afrique aux points suivants : lat. 6° 9′ N., long. 10° 55′ W., par 82 m. ; et lat. 5° 5′ 6″ N., long. 4° 00′ 7″ W., par 121 mètres.

Océan Indien

1887. Comparativement aux autres océans, l'Océan Indien a été étudié beaucoup plus tard, et les premières collections de dépôts furent faites par le capitaine J. P. MACLEAR, R. N., à bord du « Flying Fish[1] ». Des boues vertes et sables verts furent collectés aux points suivants :

Prof.	Lat. S.	Long. E.
631 m.	10° 42′	124° 52′
1500 m.	10° 33′	124° 13′
1027 m.	11° 7′	121° 52′
1531 m.	11° 5′	121° 50′
2652 m.	7° 3′	103° 1′
3512 m.	7° 3′	102° 1′

1889. En cette année de nombreuses additions

1. MURRAY, 8.

furent faites à nos connaissances des dépôts de cet Océan par les collections rapportées par le capitaine Pelham Aldrich du « Egeria[1] », et par le capitaine A. Carpenter du « Investigator ». Les collections de dépôts faites à bord des bateaux posant des câbles le long de la côte orientale d'Afrique ont été également étudiées au « Challenger Office », et nous pouvons maintenant donner une idée assez juste de la distribution des dépôts à glauconie dans cet océan en disant qu'on les rencontre le long de la côte E. d'Afrique, le long des côtes W. et S. d'Australie, à une profondeur généralement inférieure à 1830 mètres (1000 brasses).

Agulhas Bank

1873. La glauconie est très remarquablement représentée dans les dépôts de l'Agulhas Bank, comme cela a été démontré par Murray et Renard.

1875. L'expédition allemande de la « Gazelle » rencontra les mêmes formations sur ce même point.

1898-99. L'expédition récente de la « Valdivia » rapporta de l'Agulhas Bank des sables verts et des concrétions phosphatées.

L'an dernier nous avons décrit une importante collection de concrétions phosphatées provenant de dépôts dragués sur l'Agulhas Bank par les bateaux du « Department of Agriculture of the Cape of Good Hope », prouvant que la glauconie et les concrétions phosphatées sont également distribuées sur toute

1. Murray, 10.

l'étendue du banc en dehors de la ligne de 100 brasses (183 mètres).

Océan Pacifique

1873. Le commandant Geo. E. Belknap trouva des boues vertes et des sables verts tandis qu'il étudiait la côte W. de l'Amérique du Nord à bord du « Tuscarora ». Les collections furent envoyées à Sir John Murray et furent étudiées à nouveau de 1899-1901 au « Challenger Office ». Parmi ces collections nous trouvons 4 échantillons de boues vertes et 26 échantillons de sables verts provenant de 30 stations différentes du point lat. 44° 54′ N., long. 125° 13′ W., au point lat. 32° N., long. 118° 26′ W., à des profondeurs inférieures à 1830 m.

Trois échantillons provenant des stations suivantes sont particulièrement intéressants :

Prof.	774 m.	lat.	39° 02′ N.	long.	124° 09′ W.
—	232 m.	—	39° N.	—	124° W.
—	317 m.	—	38° 32′ N.	—	123° 24′ W.

Ils sont presque totalement composés de grains de glauconie avec quelques foraminifères et quelques minéraux, spécialement du quartz. Sans aucun doute ce sont les spécimens les plus purs de sables verts qui aient été jamais trouvés, s'ils se trouvent bien à l'état dans lequel ils furent dragués ; il se pourrait que les échantillons aient été passés au tamis avant d'avoir été envoyés.

1874. Le « Challenger » dragua des sables verts devant Sydney à 6 stations différentes. Puis il rencon-

tra les mêmes formations entre Cape York et Arrou Island aux points suivants :

Lat. 9° 36′ S. long. 137° 50′ E.
— 8° 56′ S. — 136° 5′ E.

De Arrou Island au Japon des boues vertes furent collectées à une station dans la mer d'Arafura et à 2 stations aux points suivants :

Lat. 5° 41′ S. long. 134° 43′ E.
— 5° 26′ S. — 133° 19′ E.

entre Arrou Island et Banda. De Samboangan à Manille à 3 stations :

Lat. 12° 43′ N. long. 122° 9′ E.
— 12° 46′ N. — 122° 10′ E.
— 9° 26′ N. — 123° 45′ E.

les mêmes dépôts furent dragués.

Le long de la côte du Japon, la glauconie fut trouvée dans les boues vertes à 4 stations et pour la dernière fois dans le Pacifique par le « Challenger », car la glauconie n'a jamais été trouvée dans les grands fonds au milieu de cet océan.

1878. Le « Tuscarora trouva de nouveau la glauconie à une station lat. 23° 35′ N., long. 111° 57′ W., par 908 mètres.

1882-83. Le « Enterprise » rencontra ces mêmes dépôts près de l'île Chatham dans le sud.

1889. Lorsque A. Agassiz[1] étudiait la côte W. de l'Amérique du nord à bord de l'« Albatross », il dragua des boues vertes avec de nombreux moules

1. Agassiz, 2.

de glauconie au point lat. 31° 3′ 30″ N., long. 117° 40′ 15″ W., par 1566 mètres. Ce nouveau point situé entre les deux sondages extrêmes sud du « Tuscarora » semble montrer que les sables verts s'étendent sur la côte W. de l'Amérique du Nord de la lat. 44° 54′ à la lat. 23° 35′ N.

1891. Etudiant la côte W. de l'Amérique Centrale, A. Agassiz, toujours à bord de l' « Albatross », trouva 2 gisements de sables verts devant Mariato Point, non loin de la côte aux points suivants : lat. 6° 35′ N. long. 81° 44′ W., par 914 mètres ; et lat. 6° 30′ N., long. 81° 44′ W., par 1280 mètres.

1896. Le « Dart » dragua de semblables formations sur la côte E. d'Australie aux points suivants : lat. 23° 6′ 30″ S., long. 152° 16′ 30″ E., par 145 mètres ; et lat. 23° 9′ 40″ S., long. 152° 19′ E., par 165 mètres.

1901. Le « Britannia » dragua des boues vertes à 2 stations au nord de la Nouvelle Zélande : lat. 34° 36′ 32″ S.. long. 173° 35′ 37″ E., par 329 mètres ; et lat. 34° 31′ 42″ S., long. 173° 34′ 30″ E., par 307 mètres.

1904. Comme les échantillons de sables verts collectés en 1891 par A. Agassiz [1] à bord de l' « Albatross » furent perdus, deux dragages furent faits sensiblement aux mêmes points, et les sables verts furent retrouvés.

Pour être complet il nous faut citer les localités où le « Nero [2] » trouva des boues vertes, tandis qu'il

1. Agassiz, 6.
2. Flint.

étudiait la route pour la pose d'un câble entre les Etats-Unis, les Philippines et le Japon. Plusieurs des déterminations comme boues vertes du « Néro » nous paraissent être en désaccord avec la description type donnée par Murray et Renard, et nous semblent devoir être attribuées à des boues bleues.

Ces dépôts furent dragués à Dingola Bay (Luzon) à 14 stations différentes à des profondeurs variant de 188 mètres à 4272 mètres? Devant Yokohama à 21 stations différentes ; toutes, sauf 5, en dessous de 1800 mètres. Ces dernières localités se rapprochent de celles où le « Challenger » en 1874 dragua les mêmes formations.

Méditerranée.

D'après Sir John Murray [1] la glauconie a été trouvée à de grandes profondeurs dans la Méditerranée à l'état de grains et de moules de foraminifères.

En 1901 S. A. S. le prince de Monaco, à bord de la « Princesse Alice », dragua devant la côte du Maroc à la station suivante : lat. 33° 59′ 30″ N., long. 10° 33′ W. par 851 mètres, ce que le professeur Thoulet appelle : Vase sableuse très calcaire glauconieuse.

Aujourd'hui, d'après ce que nous savons, nous pouvons dire que la glauconie est représentée en grande quantité dans ce que Murray et Renard ont appelé les boues vertes et les sables verts, et aux localités suivantes : le long des côtes de la Caroline et de la Floride sur les bords des boues bleues ; le long des côtes du Portugal et de l'Espagne ; le long des côtes

1. Murray, 12.

S. et E. d'Afrique ; le long des côtes W., S. et E. d'Australie ; dans quelques mers de l'Archipel Indien ; le long de la côte E. du Japon ; le long de la côte W. de l'Amérique du Nord ; le long de la côte W. de l'île Chatham; en quelques points sur la côte W. d'Afrique.

CHAPITRE III

LES CONCRÉTIONS PHOSPHATÉES[1]

§ 1. — *Distribution géographique.*

Les géologues ont depuis longtemps reconnu que bon nombre de gisements de phosphorites des assises sédimentaires avaient dû se former sur le fond des mers des temps passés.

Parmi les découvertes faites par l'expédition du « Challenger », celle de la formation des concrétions phosphatées dans les mers actuelles fut d'une grande importance car, comme nous le verrons dans la suite, cette formation est étroitement liée à d'autres phénomènes océanographiques qui nous permettent, en passant de l'océan d'aujourd'hui à celui des périodes géologiques, de préciser l'état des mers dans lesquelles les phosphorites de certaines assises sédimentaires, se sont formées autrefois.

Sir John MURRAY[2], en construisant en 1898 sa carte des variations annuelles de la température des eaux

1. Ce chapitre est basé sur l'étude, faite par l'auteur, des concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank (voir COLLET 1).
2. MURRAY, 21, p. 113.

de surface des océans, remarqua que des concrétions phosphatées furent draguées dans tous les points de la carte où l'on observe de grands écarts de température de l'eau superficielle qui, comme nous l'avons vu dans un chapitre spécial, amènent une grande destruction d'animaux. (Voir chap. I, § 3, p. 18).

Les concrétions phosphatées furent draguées pour la première fois par le « Challenger [1] » sur l'Agulhas Bank, la côte E. du Japon, la côte d'Espagne, la côte E. d'Australie, la côte du Chili, entre les îles Falkland et l'embouchure de la Plata ; puis par l'expédition allemande de la « Gazelle » aussi sur l'Agulhas Bank ; par l'expédition américaine du « Blake [2] » sur la côte atlantique de l'Amérique du nord et dans le détroit de Floride ; plus tard (1898-1899) par l'expédition allemande de la « Valdivia » sur l'Agulhas Bank et dernièrement par M. Alexander Agassiz sur les côtes du Pacifique nord.

Dans toutes les localités précitées nous trouvons de grandes variations de température de l'eau de surface résultant généralement de la rencontre d'un courant froid avec un courant chaud. Les dépouilles d'organismes tués par ces écarts de température s'accumulent sur le fond de la mer et fournissent, en se décomposant, de l'ammoniaque et du phosphate de chaux qui donnent naissance à des concrétions et nodules phosphatés.

1. Murray, **13**, p. 391.
2. Agassiz, **1**, vol. I, p. 275.

§ 2. — *Caractères généraux*

La plus grosse concrétion qui ait été draguée sur l'Agulhas Bank mesure 23 × 16 × 12 cm. ; ces grosses concrétions sont plutôt une rareté et celles que l'on rencontre le plus souvent ont un diamètre variant de 0,5 à 10 cm.

Surmontées de protubérances ou perforées de nom-



Fig. 26. — Aspect général d'une concrétion phosphatée recouverte d'organismes. 421 mètres. Agulhas Bank. $\frac{1}{6}$. Grand. nat.

breux trous et cavités, les concrétions phosphatées ont en général une forme très capricieuse avec des contours plus ou moins arrondis et quelquefois

presque anguleux. La substance qui les recouvre empêche d'en connaître la structure et se présente sous deux aspects différents : foncée et brillante ou grise et mate. Cette dernière manière d'être est due d'une part à un lavage par l'eau de mer, d'autre part à une foule d'organismes qui ont cru sur la concrétion tels que : coraux, bryozoaires, annélides, alcyonaires, éponges et foraminifères. Cette différence de couleur externe, souvent très nettement marquée sur un même spécimen, nous indique la position de la concrétion sur le fond de la mer ; la partie grise, surmontée de restes d'organismes étant dans l'eau, tandis que la partic brillante et noire se trouverait enfouie dans la vase.

Examinées de plus près, ces concrétions apparaissent comme formées par une plus ou moins grande quantité d'éléments hétérogènes, cimentés les uns avec les autres par une pâte dont l'élément principal est le phosphate de chaux $(PO^4)^2Ca^3$. Sur une cassure fraîche ou mieux sur une coupe faite à la machine à travers la concrétion, la nature réelle de cette dernière apparaît ; nous la voyons, en effet constituée par des nodules de différentes grandeurs, de couleur grise, jaune ou brunâtre, cimentés par une substance compacte jaunâtre dans laquelle se trouvent emprisonnées des coquilles de foraminifères, des grains de glauconie, de la calcite en paillettes et des minéraux détritiques. La matière formant le ciment, comme celle qui constitue les nodules, donne la réaction caractéristique des phosphates.

On observe souvent des nodules ou concrétions dont les fentes sont remplies d'une substance verdâtre

qui n'est autre que de la glauconie secondaire. Un fait semblable fut signalé par M. CAYEUX dans les nodules phosphatés du cap de la Hève et par M. SOLLAS dans les nodules de l'Upper Green Sand.

Nous avons rencontré dans le matériel d'une des stations de l'Agulhas Bank des concrétions présentant ceci de particulier, que les nodules dont elles sont formées possèdent une couleur jaune brun, nettement différente de celle du ciment qui les unit. Il est à noter que ces nodules jaunes ne contiennent pas de glauconie en grains. Comme le montrent les analyses ci-dessous, la différence de coloration, entre les nodules et le ciment, est due à une augmentation en peroxyde de fer.

1. *Nodule jaune.*

Insoluble = 9,76 %
P^2O^5 = 17,31 = 37,79 % $(PO^4)^2Ca^3$
CaO = 43,81 %
Fe^2O^3 = 21,9 %

2. *Nodule jaune.*

Insoluble = 4,15 %
P^2O^5 = 21,39 = 46,69 $(PO^4)^2Ca^3$
CaO = 32,85 %
Fe^2O^3 = 23,70 %

3. *Ciment.*

Insoluble = 31,82 % (minéraux et glauconie)
P^2O^5 = 14,29 = 31,19 $(PO^4)^2Ca^3$
CaO = 17,40 %
Fe^2O^3 = 4,29 %

Dans les analyses de concrétions phosphatées du « Challenger » nous trouvons 5,80 °/₀ comme chiffre maximum de la teneur en fer ; dans une analyse d'un nodule du « Blake, il n'y en a même que des traces. Sir John MURRAY[1], dans son étude des dépôts récoltés par le « Blake », décrit une concrétion phosphatée d'une couleur brune, consistant en un agrégat d'organismes calcaires cimentés par une matière brun jaune. Bien que nous ne connaissions pas la composition chimique de cet intéressant spécimen, il est hors de doute que la couleur brune est due à une forte proportion de peroxyde de fer. Il reste à savoir d'où provient cette forte augmentation en oxyde ferrique. L'étude microscopique de certains nodules montra tous les termes de passage entre la matière phosphatée imprégnée de glauconie pigmentaire et la matière jaune brun riche en fer. Nous nous trouvons donc en présence d'un cas de décomposition de la glauconie, produisant un enrichissement en oxyde ferrique. Les causes de la décomposition de la glauconie sont encore imparfaitement connues ; il semble résulter d'études faites sur certaines roches ferrifères que la décomposition de la glauconie serait due à la perte de cet élément important : la potasse (voir chap. II, § 1, p. 161). M. SPURR a trouvé dans la chaîne du Mesabi, Minnesota, des gîtes de minerai de fer devant leur origine à cette décomposition dont le produit final consiste en couches alternativement formées de silice et de limonite. Comme nous le faisons remarquer dans le chapitre traitant de la glauconie, il faut

1. MURRAY, 5, p. 53.

que les eaux contiennent un principe spécial pour opérer cette décomposition, car la glauconie marine comme la glauconie sédimentaire se comporte à ce point de vue d'une façon toute différente suivant les localités où elle a été recueillie.

Parmi les minéraux que contiennent les concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank il faut en premier lieu citer le quartz, en fragments anguleux très abondants, puis les feldspaths qui présentent une constance remarquable : tous les individus déterminables, rentrant dans la catégorie des plagioclases basiques, sont dans un très bon état de conservation. L'absence presque totale de l'orthose est à noter. La glauconie se présente à l'état de grains arrondis à contours tranchés et à l'état de pigment qui imprègne la pâte des nodules. Le phosphate de chaux, autant qu'il est permis de le dire, n'est jamais individualisé sous forme minéralogique, mais est diffusé inégalement dans la masse en formant d'une part le ciment à l'aide de paillettes de calcite et d'autre part en imprégnant la calcite des coquilles qui de ce fait perd toute biréfringence.

Les concrétions phosphatées sont en quelque sorte l'image du fond dans lequel on les trouve, ce qui prouve bien leur formation in situ. Ce fond est-il un sable vert comme dans le cas de l'Agulhas Bank, les concrétions contiendront de la glauconie et des minéraux clastiques en grand nombre ; est-il au contraire une vase à globigérines formée non loin du continent mais en eau plus profonde (3475 mètres pour un des échantillons du « Challenger »), la concrétion sera entièrement formée de globigérines avec quel-

ques minéraux détritiques, mais sans glauconie.

La plupart des nodules contiennent des restes d'organismes calcaires, dont la calcite est pseudomorphosée en phosphate de chaux ; dans un petit nombre cependant le phosphate ne fait que cimenter des grains de glauconie et des minéraux détritiques. Ces deux manières d'être nous paraissent impliquer une dualité de mode de formation, comme nous le verrons plus loin.

Nous avons rencontré, dans le matériel provenant de l'Agulhas Bank, des fossiles de lamellibranches et brachiopodes, ainsi que quelques gastéropodes qui présentent tous les modes de passage de la coquille blanche à celle complètement phosphatisée, de couleur brillante brune. Ces fossiles ressemblent beaucoup aux phosphorites des grès verts de l'Albien de la perte du Rhône à Bellegarde, où le phosphate s'est concentré dans les coquilles.

§ 3. — *Composition chimique*

Les résultats des analyses suivantes de deux con-

Soluble dans HCl

		N° I	N° II
$(PO^4)^2Ca^3$	=	48,70	52,05
CO^3Ca	=	31,86	18,35
SO^4Ca	=	3,39	3,12
CO^3Mg	=	traces	1,02
Fe^2O^3	=	2,35	0,95
Al^2O^3	=	3,38	3,55
SiO^2	=	1,18	0,90
Perte	=	1,19	1,91
Résidu insoluble	=	8,18	17,75
		100,23	99,60

Insoluble

SiO^2	=	87,83	87,5
Fe^2O^3 / Al^2O^3	=	8,65	10
CaO	=	3,10	1,05
MgO	=	traces	1,02
		99,58	99,57

crétions, provenant de la même localité sur l'Agulhas Bank, sont loin de concorder et montrent que les concrétions sont composées d'éléments hétérogènes enchâssés dans une pâte amorphe dont le principal élément est le phosphate de chaux.

La plus grande différence entre ces deux analyses réside dans la teneur en carbonate de chaux. L'analyse microscopique nous renseigne sur les causes de cette différence ; en effet le n° I contient une grande abondance de foraminifères et de fragments de coquilles, tandis que le n II en contient beaucoup moins, mais par contre renferme plus de minéraux, ce qui se traduit dans l'analyse chimique par une augmentation de la teneur du résidu insoluble.

En comparant ces résultats à ceux des expéditions du « Challenger » et du « Blake », nous arrivons à la conclusion que la masse principale des concrétions est composée en majeure partie de phosphate de chaux dont la teneur est sujette à de grosses variations dépendant de la plus ou moins grande quantité d'organismes calcaires.

§ 4. — *Mode de formation*

L'origine de la matière phosphatée dans les phosphorites a donné lieu à plusieurs interprétations dont

nous trouvons le résumé dans un mémoire de M. J.-J.-H. Teall [1] : *Natural history of phosphatic Deposits.* Certains auteurs ont émis l'idée que la matière phosphatée venait d'en bas, d'autres, surtout MM. Lasne et Munier-Chalmas, qu'elle provenait des rivières qui amènent à la mer de l'apatite en solution, enfin MM. Renard, Cornet et Strahan pensent qu'elle provient des organismes marins dont nous trouvons les restes dans les sédiments.

La source du phosphate de chaux ayant été une question très discutée, il nous paraît intéressant de reprendre un peu en détail les vues des différents auteurs à ce sujet.

MM. Renard et Cornet [2], après avoir étudié les phosphates disséminés dans les couches crétaciques des environs de Mons, en arrivèrent à écarter l'hypothèse d'un apport direct de l'intérieur du globe, rien n'indiquant que ce soient des sources ou des émanations internes qui aient apporté le phosphate des nodules. Ils abandonnèrent également la théorie qui explique la formation des phosphates par un dépôt de l'eau de mer, sans l'intervention préalable des organismes qui sécrètent le phosphate. Pour ces auteurs ce sont les organismes dont la décomposition doit être envisagée comme la source immédiate du phosphate des concrétions. Cette matière serait ensuite « attirée vers les substances organiques [3] ».

Ce phénomène d'attraction expliquerait selon Re-

1. Teall, 2.
2. Renard et Cornet.
3. Renard et Cornet, p. 152.

NARD et CORNET le fait, souvent constaté, que la charpente du nodule est un spongiaire ou une coquille de brachiopode. Ils trouvent encore une preuve de cette attraction dans la pseudomorphose, plus ou moins complète, des coquilles de foraminifères en phosphate. Parlant de la matière organique ces auteurs disent :

« Celle-ci doit exercer sur le phosphate une action attractive qu'on peut considérer comme un écho affaibli de celle qu'exerce sur ce corps la matière vivante. »

Cette idée d'attraction de phosphate par la matière organique nous paraît devoir être abandonnée comme nous le verrons plus loin.

MM. RENARD et CORNET expliquent comme suit la formation des grains de phosphate : les restes de foraminifères et d'autres organismes calcaires ont été jetés sur le rivage et subséquemment transformés en phosphate par les débris de poissons ou de reptiles auxquels ils se trouvent souvent mélangés. Cette transformation accomplie, ces auteurs estiment que le phosphate aurait été entraîné au large par les vagues et les courants, et aurait été déposé entre les limites de 200 à 400 kilomètres du rivage.

Comme le fit très justement remarquer M. LASNE[1] dans son étude sur les terrains phosphatés des environs de Doullens, cette explication de la formation des grains de phosphate est impossible tant au point de vue chimique qu'au point de vue mécanique.

Il ne faut pas oublier que le phosphate de chaux se dissout après et se précipite avant le carbonate de chaux. Si donc des coquilles ont été rejetées sur le

1. LASNE.

rivage pêle-mêle avec des fragments d'os de poissons, c'est le carbonate de chaux qui se dissoudra le premier, d'où il résulte forcément que la forme des coquilles ne sera pas conservée.

Les grains de phosphate formés par une matière dont la densité est voisine de 3 ne peuvent pas rester longtemps en suspension dans l'eau, comme le montrent les chiffres de M. Lasne. Il faut donc renoncer à l'idée de MM. Renard et Cornet quant au mode de formation des grains de phosphate.

Tandis que MM. Renard et Cornet voyaient, avec raison, la source du phosphate dans les organismes marins, M. Lasne pense que le phosphate est amené en solution dans la mer par les grands fleuves et qu'il provient d'une dissolution d'apatite. Il base cette hypothèse sur le fait de la localisation du phosphate en amas puissants à l'époque sénonienne qui contraste avec la dissémination caractéristique des époques antérieures. Les eaux des grands fleuves auraient d'abord déposé leurs matériaux détritiques en arrivant à la mer, puis, perdant progressivement leur anhydride carbonique, il en est résulté que le fluophosphate ne pouvait plus rester en solution ; c'est alors que se serait passée l'épigénisation des tests calcaires.

M. Munier-Chalmas [1] va plus loin même que M. Lasne en disant qu'à l'époque de la *Belemnitella mucronata* (Sénonien) ce fut l'Écosse et le continent Scandinave qui ont été le point de départ du phosphate et du fluorure dissous. Les courants marins, allant du nord au sud et charriant ces substances, arri-

1. Munier-Chalmas, p. xlix.

vés dans les parties les moins profondes de la mer sénonienne du bassin de Londres et du bassin de Paris, se seraient trouvés dans des conditions de salure et de profondeur favorables au dépôt du phosphate.

M. DE LAPPARENT[1], dans la discussion qui suivit la communication de M. MUNIER-CHALMAS à la Société Géologique de France, montra que la théorie de RENARD et CORNET et de MURRAY et RENARD était de beaucoup plus vraisemblable que celle de M. LASNE.

« Cette explication, dit M. DE LAPPARENT, semble infiniment plus rationnelle que l'hypothèse de courants qui, à l'époque de la craie, auraient amené de la Norvège une provision d'acide fluophosphorique, toujours bien insuffisante pour justifier d'une précipitation, car les précipitations purement minérales ne se font que dans des liqueurs saturées, tandis que les animaux excellent à extraire du milieu où ils vivent, des substances que la chimie parvient à peine à déceler qualitativement. »

Une autre théorie intéressante est celle de M. DE MERCEY[2]. Ce savant admet une action éruptive locale pour expliquer la formation des phosphates de la craie : des sources chargées d'acide phosphorique ne peuvent pas traverser de grandes épaisseurs de calcaires, sans déposer au contact du carbonate de chaux le phosphate tenu en dissolution. Or, comme le fait remarquer si judicieusement M. LASNE, si un phénomène pareil s'est passé, nous devons nous attendre à trouver des traces de phosphate dans les roches calcaires

1. in MUNIER-CHALMAS, p. L.
2. in LASNES, p. 218.

sous-jacentes aux assises phosphatées, ce qui n'est pas. Il est, en effet, impossible de concevoir que les eaux chargées de phosphate aient traversé des calcaires par des fentes sans laisser aucune trace.

Nous avons vu au § 1 quelle nous paraissait devoir être l'origine de la matière phosphatée. Les nombreux restes d'animaux qui accompagnent les nodules de l'Agulhas Bank, consistant en dents de poissons et de squales, os tympaniques de cétacés sont une preuve de plus à notre manière de voir.

Pourquoi, dira-t-on, ne trouve-t-on pas des concrétions phosphatées dans les abîmes du Pacifique où des os tympaniques et des dents de requins furent dragués en si grand nombre par le « Challenger » ? A cette question nous répondrons que les os des animaux marins sont dissous avant d'atteindre le fond et que le phosphate, résultant de cette action, entre en solution dans un volume d'eau considérable, tandis qu'il en est autrement dans les faibles profondeurs où l'on rencontre généralement les concrétions phosphatées. Dans ces dernières localités les corps des animaux marins, tués par les brusques changements de température de l'eau de surface, tombent sur le fond où ils se décomposent et où les os sont dissous, tandis que les parties plus résistantes, telles que les dents et les os tympaniques, restent sur le fond.

Nous avons vu que les concrétions phosphatées étaient dues à la réunion de plusieurs nodules, cimentés par une matière dont l'élément principal, tout comme dans les nodules, est le phosphate de chaux $(PO^4)^2Ca^3$. Quel est le mode de formation des nodules ?

Les nodules se présentent sous deux aspects bien

différents : *avec foraminifères ou restes d'organismes calcaires* dont la calcite est souvent pseudomorphosée en phosphate de chaux et *sans foraminifères ou restes d'organismes calcaires* ; la matière phosphatée parais-



Fig. 27. — Concrétion formée par de gros nodules cimentés 304 mètres. Agulhas Bank. $\frac{1}{4}$. Grand. nat.

sant seulement cimenter les grains de glauconie et les minéraux clastiques. Ces deux manières d'être, très différentes, nous paraissent devoir impliquer une dualité de mode de formation des nodules.

a. *Nodules avec foraminifères ou restes d'organismes calcaires*

Par sa décomposition sur le fond, la matière organique produit de l'ammoniaque qui, réagissant sur le phosphate de chaux en solution, donnera du phosphate d'ammonium. *C'est l'action du phosphate d'ammonium sur le carbonate de chaux des coquilles calcaires qui nous paraît devoir être le premier stade dans la formation de ces nodules*. Cette action, comme le montre l'analyse microscopique, est une pseudomorphose. L'acide phosphorique du phosphate d'ammonium déplace l'anhydride carbonique du carbonate de chaux pour donner du phosphate de chaux ; ce qui peut s'expliquer comme suit :

$$2\ PO^4H^3 + 3\ CaCO^3 = 3\ H^2O + 3\ CO^2 + (PO^4)^2Ca^3$$

ou mieux :

$$2\ PO^4(NH^4)^3 + 3CaCO^3 = (PO^4)^2Ca^3 + 3CO^3(NH^4)^2.$$

Ce phosphate de chaux provenant de cette pseudomorphose servira ensuite d'attraction pour les précipitations subséquentes de phosphate de chaux dues peut-être à des réactions entre le phosphate d'ammonium et le bicarbonate de chaux en solution, provenant de l'attaque des coquilles par l'anhydride carbonique en dissolution dans l'eau de mer.

Notre manière de voir est confirmée par une importante expérience de Robert IRVINE et W. S. ANDERSON[1], où l'on voit qu'un polypier, plongé dans du

1. IRVINE, 1, pp. 52-54.

phosphate d'ammonium, renfermait 60 °/₀ de phosphate de chaux au bout de 6 mois. Cette expérience peut être envisagée comme un premier pas dans la synthèse des nodules phosphatés.

Cette expérience explique également la formation des phosphates des îles coralliennes. Dans ces îlots perdus au milieu de l'Océan, l'acide phosphorique provient des excréments d'oiseaux déposés sur les calcaires coralliens. L'action pseudomorphique est évidemment fonction directe de la quantité de guano déposé. Il est bien évident que cette pseudomorphose, entre le carbonate de chaux et les phosphates alcalins, ne peut avoir lieu qu'en présence d'eau, ce qui explique que le guano reste comme il a été déposé dans les régions où le climat est sec, tandis qu'il est transformé en phosphate de chaux insoluble dans les régions pluvieuses.

Nous avons vu dans les collections de Sir John Murray au « Challenger Office », à Edimbourg, un bloc de coraux complètement transformés en phosphate de chaux; il provient de l'île Christmas (200 milles au S.-W. de Java) où aujourd'hui sont exploités les plus riches phosphates du monde (env. 90 °/₀ de $(PO^4)^2 Ca^3$).

Le phosphate d'ammonium n'agit pas que sur le carbonate de chaux, comme l'a montré M. Armand Gautier dans une étude des phosphates de fer et d'alumine de la grotte de Minerve. En effet cet auteur arrive à la conclusion que ces phosphates sont dus à l'action pseudomorphosante du phosphate d'ammonium, provenant de la décomposition de la matière animale, sur argile; ce qu'il prouva en produisant du

phosphate d'alumine par action d'une solution de phosphate d'ammonium sur du kaolin. M. J.-J.-H. Teall a également signalé une action semblable à Clipperton Atoll où il a découvert un trachyte dans lequel l'acide silicique a été déplacé par l'acide phosphorique de phosphates alcalins provenant d'excréments d'oiseaux.

Cette interprétation du mode de formation des nodules phosphatés a le grand avantage d'être basée sur des faits et des expériences et elle est de plus confirmée par les fossiles phosphatés qui souvent accompagnent les concrétions de l'Agulhas Bank.

Dans certains gisements de phosphates sédimentaires, l'Albien de la perte du Rhône à Bellegarde, par exemple, les fossiles semblent avoir concentré la matière phosphatée et on a généralement admis, à tort, que la matière organique avait un pouvoir attractif sur le phosphate. Les phosphorites de Bellegarde sont en tous points semblables aux fossiles de l'Agulhas Bank, l'explication de leur formation due à l'attraction de la matière organique doit donc être écartée ; la matière organique ne fournissant que l'ammoniaque utile sinon nécessaire à la formation des nodules et *le carbonate de chaux étant en quelque sorte la matière attractive.*

§ 5. — *Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires*

M. Cayeux[1], déjà en 1897, faisait remarquer qu'il existait une connexion étroite entre l'existence des

1. Cayeux, 2, p. 432.

gisements de phosphate du bassin de Paris et les ruptures d'équilibre des mers. Ce savant se basait sur les faits suivants :

1° La craie phosphatée du département du Nord est en relation avec un mouvement d'exhaussement qui a eu pour résultat de chasser la mer du golfe de Mons. Son existence est liée à une période de *régression* de la mer pour le Nord.

2° La craie phosphatée à Belemnitelles correspond à la grande *transgression* campanienne.

3° Celle du bassin de Mons est contemporaine du *retrait* de la mer du bassin de Paris, après le dépôt de la craie à Bélemnitelles.

4° Le phosphate de l'Artois (Pernes) correspond à la grande transgression cénomanienne.

Deux de ces gisements sont en rapport avec une régression de la mer, deux autres avec une grande transgression. M. Cayeux tira de ces faits la conclusion suivante pour le Bassin de Paris : *tous les gisements de crétacé supérieur ont pris naissance aux périodes de grande rupture d'équilibre de la mer.* Mais quelle liaison existe-t-il entre les transgressions et régressions et la genèse des gisements de phosphate de chaux ? L'observation de Sir John Murray suggère à M. Cayeux[1] l'explication suivante : « Les grandes ruptures d'équilibre entraînent des changements de courants, de profondeur de la mer, etc., bref, ils doivent jeter le trouble dans les conditions d'existence des organismes et déterminer la destruction d'innombrables individus. L'acide phosphorique fourni en

1. Cayeux, 3, p. 752.

abondance par les hécatombes d'organismes passe dans les sédiments, grâce aux réactions indiquées par M. L. W. Collet. Ainsi les grands mouvements des mers seraient le point de départ de nombreux gisements de phosphate sédimentaire. »

Les observations de M. Cayeux sont susceptibles de généralisation comme l'a fort bien montré M. Ch. Jacob[1] à propos du crétacé moyen du sud-est de la France. D'après cet auteur l'extrême fréquence des phosphates dans la marge du géosynclinal dauphinois, du gargasien supérieur au cénomanien, serait causée par des oscillations et des transgressions marines.

CHAPITRE IV

LA PHILLIPSITE ET LES ZÉOLITES

Les premiers cristaux de phillipsite furent rencontrés par le « Challenger », dans les échantillons de fonds, entre les îles Sandwich et les îles de la Société. Dans cette région ils forment jusqu'à 30 % du poids total d'un échantillon du sédiment.

§ 1. — *Caractères généraux.*

Le fait, que certaines coquilles de foraminifères arénacés sont entièrement formées par de petits cristaux de phillipsite, prouve qu'on doit rencontrer ce miné-

1. Ch. Jacob. Etudes paléontologiques et stratigraphiques sur la partie moyenne des terrains crétacés dans les Alpes françaises et les régions voisines, p. 305, Grenoble, Allier frères, 1907.

ral en grande abondance dans certains sédiments. On le trouve, en effet, dans les fonds du Pacifique comme dans ceux de l'océan Indien. Bien que ce minéral ne soit caractéristique d'aucun dépôt, il abonde cependant dans l'argile rouge.

La présence des cristaux de phillipsite est intéressante au point de vue de l'étude des réactions chimiques dont le fond des océans est le théâtre. Les zéolites continentales, si l'on peut s'exprimer ainsi, apparaissent généralement dans des vacuoles ou des fissures de roches volcaniques et DAUBRÉE les découvrit dans les briques romaines de Plombières.

Si l'on examine les dépôts contenant ces cristaux de zéolites, sous un fort grossissement, on discerne, au milieu de la matière argileuse et des débris de roches volcaniques une quantité de petits cristaux, à contours géométriques, recouverts d'une substance jaunâtre. Ils sont simples ou mâclés et forment même quelquefois des groupes ou sphérules assez grosses pour être reconnues à l'œil nu. Elles donnent au dépôt une consistance granuleuse.

Etudions les individus isolés qui sont généralement entraînés, lors des décantations, avec les matières argileuses du sédiment. Ces microlithes sont généralement recouverts d'une fine couche d'hydrate de fer et d'oxyde de manganèse qui leur donne une couleur brune ou fauve. On observe mieux leurs formes après les avoir lavés à l'acide faible qui enlève la substance qui les recouvre. Ainsi nettoyés ces petits cristaux se montrent posséder un diamètre moyen de 0,027 mm. en longueur et de 0,006 mm. en largeur. Le diamètre moyen des sphérules varie de 0,5 mm. à 2 mm. Les

mâcles cruciformes rappellent celles de l'harmotome calcaire et de la phillipsite. Elles sont si fréquentes



Fig. 28. — Cristaux et sphérules de phillipsite. Pacifique. 3874 m. « Nero ». $\frac{15}{1}$. (D'après J.-M. FLINT).

et si caractéristiques qu'elles permettent d'identifier ces minéraux comme appartenant à l'un ou à l'autre de ces zéolites.

§ 2. — *Composition chimique.*

Les analyses suivantes, faites sur le matériel le plus pur du « Challenger », confirment la détermination de ces minéraux.

	Station 275 « Challenger ».	Profondeur 4773 mètres	
Perte au feu	7,59	7,35	9,47
SiO^2	47,60	49,88	48,70
Al^2O_3	17,09	16,52	17,58
Fe^2O_3	5,92	5,54	6,17
MnO	0,43	0,44	—
CaO	3,20	1,38	1,70
MgO	1,24	1,20	1,02
K^2O	4,81	5,10	4,83
Na^2O	4,08	4,59	3,75
H^2O	9,15	9.33	7,95
	101,11	101,33	101,17

La présence de fer et de manganèse doit être attribuée au revêtement d'oxydes de ces métaux. Comme on le voit, la composition chimique de ces minéraux se rapproche assez étroitement de celle de la phillipsite, excepté l'alumine dont la teneur est un peu inférieure à la moyenne. Les minéraux, appartenant aux zéolites, sont attaqués par l'acide chlorhydrique et laissent un squelette de silice.

La distribution des cristaux de phillipsite, dans les dépôts marins, est connexe de celle des terres volcaniques. Etant donné l'accumulation de lapilli, de cendres et de sables volcaniques dans les parties profondes des océans, situées au delà de l'influence des rivières, des vagues, marées et courants, Murray et Renard ont émis l'hypothèse de l'existence de coulées de laves, sous ces dépôts. Parmi les produits d'éruptions sous-marines, les verres basiques sont les plus fréquents. Leur nature ainsi que leur état vitreux les expose tout spécialement à l'action de l'eau de mer, qui les désagrège. Cette décomposition des

terres volcaniques, sur le fond des mers actuelles, doit nous donner la clef du problème du mode de formation des zéolites dans les sédiments.

§ 3. — *Mode de formation.*

Si nous considérons les roches continentales, dans lesquelles nous trouvons des zéolites, il est facile de se convaincre qu'elles sont de même nature que les fragments de roches volcaniques que nous trouvons dans les sédiments marins. Les conditions dans lesquelles les zéolites se sont formées sont, dans les deux cas, les mêmes. On n'a jamais rencontré ces minéraux dans des roches fraîches, tout comme on n'en a jamais observé comme produit direct de cristallisation d'un magma, pas plus que comme produit de sublimation. Ces minéraux sont spécialement développés, comme minéraux secondaires, dans les vacuoles, les fissures de roches volcaniques anciennes ou récentes, ainsi que dans leurs tufs. On peut dire qu'il existe un étroit lien entre les zéolites et les roches dans lesquelles elles se trouvent. On peut même dire que ces silicates hydratés ne sont rien autre que les minéraux volcaniques transformés par l'action de l'eau et régénérés. L'étude des zéolites des roches continentales montre clairement que ces minéraux ont été formés par les eaux. Ces dernières ont enlevé aux roches volcaniques, qu'elles traversaient, les éléments principaux des zéolites.

Considérons maintenant ce qui se passe sur le fond des océans et nous verrons que c'est avec raison que Murray et Renard identifièrent les zéolites sous-marines aux zéolites continentales. Comme nous

l'avons déjà vu, ces minéraux ont été récoltés dans des dépôts marins où abondent des fragments de roches volcaniques basiques et de la palagonite. L'eau de mer, agissant sur ces matériaux, se charge d'éléments qui seront ensuite déposés comme zéolites. Le résidu de cette dissolution forme alors la masse argileuse, au sein de laquelle nous trouvons des dépôts concrétionnés d'oxydes hydratés de fer et de manganèse. Les cristaux de zéolites seront formés dans la vase argileuse, étant donné que le mouvement de l'eau est probablement juste suffisant pour provoquer leur formation et insuffisant pour entraîner au loin l'eau minéralisée et la disperser. Par le fait même du milieu dans lequel ils se forment, ces minéraux possèdent les caractères des cristaux formés dans des matières boueuses, comme certaines formes de gypse et de sulfures de fer, c'est-à-dire qu'ils se terminent de tous côtés par des contours géométriques.

CHAPITRE V

FORMATION DU CARBONATE DE CHAUX

§ 1. *Le carbonate de chaux sur le fond de la mer.*

Un examen attentif des animaux recueillis par la drague nous montre que plus l'on descend dans les grands abîmes de l'océan, même dans les régions équatoriales, plus la quantité de carbonate de chaux sécrétée par les organismes diminue, impliquant une

structure moins massive. Cette remarque ne s'applique pas, bien entendu, aux organismes vivant à la surface et dont les coquilles couvrent le fond.

Dans les eaux chaudes tropicales nous trouvons, vivant à la surface, de nombreuses espèces de ptéropodes, hétéropodes, foraminifères et algues calcaires qui mènent une existence purement pélagique et sécrètent du carbonate de chaux. Si de l'équateur nous nous dirigeons vers les pôles, nous ne trouvons plus, dans les eaux arctiques et antarctiques, qu'un ou deux ptéropodes à coquille très mince et seulement deux espèces naines de foraminifères. Il ressort de cette constatation que les organismes sécrètent une plus grande quantité de carbonate de chaux, dans les régions où la température est haute et uniforme, que dans celles sujettes à de grandes variations ou possédant une température basse mais uniforme, comme c'est le cas des régions polaires et de mer profonde. Dans les régions tempérées la sécrétion de carbonate de chaux est plus forte en été qu'en hiver.

En prenant comme guide les échantillons de dépôts du « Challenger », nous voyons que les sédiments marins ont une teneur moyenne en carbonate de chaux de 36,83 °/₀ ; 90 °/₀ de cette teneur sont formés par les coquilles d'organismes de surface, tombées après la mort de l'animal sur le fond ; le reste, soit 10 °/₀, est composé d'organismes sécrétant du calcaire, mais vivant sur le fond. Si nous ne considérons que les vases à ptéropodes et à globigérines, les boues et sables coralliens, la teneur moyenne en carbonate de chaux se monte alors à 76,44 °/₀.

La table suivante donne une idée de la teneur

moyenne en carbonate de chaux à différentes profondeurs :

1.	14	cas	au-dessous de 900	mètres	86,04 °/₀
2.	7	—	de 900 à 1800	—	66,86
3.	24	—	de 1800 à 2700	—	70,87
4.	42	—	de 2700 à 3600	—	69,55
5.	68	—	de 3600 à 4500	—	46,73
6.	65	—	de 4500 à 5400	—	17,36
7.	8	—	de 5400 à 6400	—	0,88
8.	2	—	de 6400 à 7300	—	0,00
9.	1		au-dessus de 7300	—	traces

Le nº 1 est formé de sables et boues coralliennes, ce qui explique la forte teneur, le nº 2 contient une grande quantité de minéraux dérivés du continent. A partir de 1800 mètres le carbonate de chaux est fourni en majeure partie par les restes des organismes pélagiques. A partir de 5400 mètres le carbonate de chaux diminue considérablement jusqu'à absence complète. Ces chiffres furent confirmés par l'étude faite au « Challenger Office » des sédiments recueillis par les expéditions américaines du « Tuscarora » et du « Blake », par les vaisseaux du gouvernement anglais, les bateaux de différentes compagnies télégraphiques, ainsi que par les résultats des expéditions récentes.

§ 2. — *Composition de l'eau de mer.*

Comme il importe de connaître la composition de l'eau de mer pour aborder le sujet de la formation du carbonate de chaux, nous donnons ici les résultats obtenus par des autorités telles que Dittmar et M. Thoulet.

TABLE I. — *Sels contenus dans 1000 grammes d'un échantillon d'eau de l'Atlantique* (THOULET [1]).

Chlorure de sodium. . . .	27,3726
— potassium. . .	0,5921
— rubidium . . .	0,0190
Sulfate de chaux.	1,3229
— magnésie . . .	2,2437
Chlorure de magnésium . .	3,3625
Bromure de magnésium . .	0,0547
Métaphosphate de chaux . .	0,0156
Bicarbonate de chaux . . .	0,0625
— fer	0,0026
Silice	0,0149
	35,0631

Si dans la précédente analyse on calcule la proportion de chaque sel en centièmes du total des sels, on trouve :

Chlorure de sodium . .	78,6	pour 100.
— magnésium .	9,6	—
Sulfate de magnésie . .	6,5	—
— chaux . . .	3,7	—
Chlorure de potassium .	1,8	—
Bromure de magnésium .	0,2	—
Bicarbonate de chaux. .	0,1	—

1. THOULET, 5, p. 79.

TABLE II. *Composition moyenne de l'eau de mer d'après* DITTMAR [1].

Chlorure de sodium	77,758
— magnésium. . .	10,878
Sulfate de magnésium . . .	4,737
Bromure de magnésium. . .	0,217
Sulfate de potassium. . . .	2,465
Carbonate de chaux	0,345
Sulfate de chaux	3,600
	100,000

TABLE III. *Composition de l'eau de mer en* 1027 *parties ou* 1 *litre, d'après* DITTMAR.

Eau	989,7073
Chlorure de sodium . . .	28,9980
— magnésium .	4,0568
Sulfate de magnésium . .	1,7665
Bromure de magnésium. .	0,0809
Sulfate de chaux	1,3425
— potassium . .	0,9193
Carbonate de chaux . . .	0,1287
	1027,0000

§ 3. — *Formation du carbonate de chaux des organismes marins*

En 1859, Bischoff[2] estimait que les organismes marins ne pouvaient tirer le carbonate de chaux dont ils font leurs coquilles que du carbonate de chaux en dissolution dans l'eau de mer. Or, si nous prenons

1. MURRAY, 11, p. 102.
2. In MURRAY, 11, note, p. 90.

$\frac{1}{10\,000}$ comme quantité de carbonate de chaux en dissolution dans l'eau de mer, une huître, agissant en quelque sorte comme une pompe, devra absorber, pour former sa coquille, un poids d'eau variant suivant les cas de 27.000 à 75.000 fois son propre poids, ce qui paraît impossible.

En 1890, MURRAY et IRVINE [1], après de nombreuses expériences faites à la « Scottish marine station for scientific Research » à Granton près Edimbourg, arrivèrent à la conclusion que le sulfate de chaux, qui se trouve en beaucoup plus grande quantité dans l'eau de mer que le carbonate de chaux, était assimilé par les organismes, grâce à des réactions chimiques. En effet le sulfate de chaux en solution est décomposé par le carbonate d'ammonium présent dans le protoplasma et forme du carbonate de chaux et du sulfate d'ammonium, comme le montre l'équation suivante:

$$SO^4Ca + CO^3(NH^4)^2 = CO^3Ca + SO^4(NH^4)^2$$

Ces auteurs furent amenés à ces conclusions par l'examen du liquide contenu dans des huîtres. La quantité totale de chaux dans un litre de ce liquide était de 0,7205 grammes, tandis qu'elle n'est que de 0,5316 gr. dans de l'eau de mer ordinaire de même densité. L'excès de chaux était donc de 0,1889. L'alcalinité du liquide calculée en carbonate de chaux se monta à 0,3675, tandis que l'alcalinité de l'eau de mer est de 0,1094, donnant donc une augmentation de 0,2581 par litre. L'excès de chaux dans le liquide des

1. MURRAY, 11.

huîtres serait dû, d'après MURRAY et IRVINE, à du carbonate de chaux en solution. Tous les doutes qu'on pourrait avoir au sujet de la formation de cet excès de carbonate de chaux sont éliminés par le fait que le dit liquide d'huîtres contenait 18 parties de sels ammoniacaux par million de parties, quantité environ soixante fois plus grande que celle contenue dans l'eau de mer ordinaire.

Partout où, dans la mer, de la matière organique est en décomposition ou des excréments déposés, nous avons formation de sels ammoniacaux donnant lieu à de nombreuses réactions dont la plus importante est une double décomposition du sulfate de chaux par le carbonate d'ammonium avec formation de carbonate de chaux et de sulfate d'ammonium.

De l'eau de mer, recueillie parmi les atolls de l'archipel de la Louisiade, contenait en un million de parties :

Sels ammoniacaux . .	0,48
Albumine	0,18
	0.66

De l'eau collectée par le « Challenger » dans le Pacifique Nord contenait :

Sels ammoniacaux . .	0,26
Albumine	0,16
	0,42

De l'eau de la mer du Nord, prise près de la côte, contenait :

Sels ammoniacaux . .	0,13
Albumine	0,13
	0,26

Ainsi l'eau des régions coralliennes contient presque deux fois plus de sels ammoniacaux que l'eau du Pacifique nord et presque trois fois plus que l'eau de la mer du Nord.

La température de l'eau est très importante dans les réactions que nous venons d'étudier. Dans l'eau froide, dont la majeure partie des océans est formée, la décomposition de la matière azotée est très lente, tandis qu'à la surface, dans les régions tropicales, elle s'effectue avec une grande rapidité. Nous pouvons ainsi expliquer la grande abondance des organismes calcaires dans les courants chauds au sud et au nord de l'équateur.

D'après M. Thoulet[1] il faudrait tenir compte, dans la formation du carbonate de chaux, de la décomposition de l'albumine. En se décomposant cette dernière substance produit de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfurique qui attaquera immédiatement le carbonate de chaux pour reformer du sulfate de chaux. La quantité de carbonate de chaux créé sera donc l'excédent du carbonate de chaux formé par le carbonate d'ammonium sur celui qui a été changé en sulfate par l'acide sulfurique résultant de la décomposition de l'albumine.

§ 4. — *Le dépôt de carbonate de chaux précipité, dans la mer Noire.*

Dans les grandes profondeurs de la Mer Noire[2], loin des côtes, on rencontre un sédiment composé

1. Thoulet, **5**, p. 89.
2. Murray, **23**, p. 683.

presque entièrement de carbonate de chaux précipité. Nous en avons l'explication dans les réactions suivantes : Comme dans les boues bleues la matière organique en décomposition réduit les sulfates solubles en sulfures avec formation d'anhydride carbonique, comme le montre l'équation suivante :

$$(1) \qquad RSO^4 + 2C = 2CO^2 + RS$$

où R est un métal alcalino-terreux.

Une partie des sulfures alcalino-terreux en présence d'anhydride carbonique et d'eau donnent naissance à de l'hydrogène sulfuré ainsi qu'à des bicarbonates alcalino-terreux qui, avec le reste des sulfures, donneront de l'hydrogène sulfuré et des carbonates, comme suit :

$$(2) \qquad RS + 2CO^2 + H^2O = H^2S + RCO^3CO^2$$

$$(3) \qquad RS + RCO^3CO^2 + H^2O = 2RCO^3 + H^2S$$

Cet hydrogène sulfuré formé en (3) trouvant près du bord, dans la boue, du fer en abondance, forme du sulfure de fer, réaction caractéristique des boues bleues :

$$(4) \qquad Fe^2O^3 + 3H^2S = 2FeS + S + 3H^2O$$

A partir de la profondeur de 200 mètres environ et surtout dans les grandes profondeurs, l'hydrogène sulfuré, ne rencontrant ni assez d'oxygène ni assez de fer pour se combiner, reste à l'état libre et il se forme en même temps un dépôt de carbonate de chaux précipité comme le montre l'équation (3).

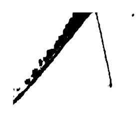
§ 5. — *Dissolution du carbonate de chaux.*

Si nous étudions la dissolution des coquilles d'organismes calcaires, due à l'action de l'eau de mer, nous verrons que le degré de dissolution varie avec les conditions auxquelles sont exposés ces restes calcaires.

La quantité de carbonate de chaux en solution dans l'eau de mer est très faible, surtout lorsqu'on considère l'énorme quantité de cette substance sécrétée continuellement par différents organismes. D'après Murray et Irvine[1] l'eau de mer pourrait tenir en solution jusqu'à 0,649 gr. de carbonate de chaux, tandis que l'eau ordinaire en contient en moyenne 0,12 gr. par litre. Une fois l'eau de mer saturée le carbonate de chaux se dépose sous forme cristalline et dans certains cas, après ce dépôt, la solution contient moins de carbonate de chaux que normalement. Cette particularité de l'eau de mer, de dissoudre le carbonate de chaux amorphe et de le précipiter ensuite sous forme cristalline, explique le remplissage des interstices des roches coralliennes actuelles ainsi que la disparition de la structure originale.

Toutes les espèces de carbonate de chaux ne se dissolvent pas avec la même facilité. En règle générale, plus la substance est cristallisée moins elle est soluble. La calcite est moins soluble que les variétés massives de coraux ; ces derniers, à leur tour, sont moins solubles que les variétés poreuses qui ont une plus grande surface d'exposition. Dans les coquilles et les coraux,

1. Murray, 11, p. 94.



les couches les plus récentes sont les plus solubles car elles sont le moins cristallines. Les coquilles en aragonite se dissolvent plus rapidement que celles qui sont en calcite. Si donc des coquilles renferment du carbonate de chaux sous ses deux états les parties en aragonite disparaîtront les premières. Les algues calcaires du genre *Halimeda* sécrètent de l'aragonite, tandis que celles du genre *Lithothamnium* sécrètent de la calcite.

Dans la table suivante on trouvera la solubilité de certaines espèces de coraux et de calcite.

	Température	Heures	Gr. par litre
Goniastrea multilobata. Amboine	10°	12	0,0730
Porites clavaria. Bermudes	11°	12	0,0930
Melobesia. Kilbreunan Sound	10°	12	0,0890
Oculina coronalis, finement pulvérisée	10°	96	0,0237
Calcite massive	10°	47	0,0075
— finement pulvérisée	10°	47	0,0082

De l'eau de la mer du Nord, prise à 30 milles de l'île de May *en été*, avait une action marquée sur des coraux, tandis que de l'eau de la même localité, prise en hiver, n'avait aucune action dissolvante sur les mêmes coraux. De semblables faits se présentent avec des échantillons d'eau d'autres localités et collectés dans les mêmes conditions. Il y aurait donc dans les régions tempérées une plus grande quantité d'acide carbonique en dissolution dans l'eau en été qu'en hiver, fait qui doit provenir, dans le premier cas, d'une augmentation de vie en été.

Buchanan, à la suite de ses observations, faites à bord du « Challenger », montra que l'acide carbonique

était plus abondant sur le fond et dans les eaux intermédiaires qu'à la surface, bien qu'en certaines localités, les îles coralliennes des Fidji par exemple, l'eau superficielle en contienne une grande quantité. D'un autre côté Reid[1] montra que le pouvoir dissolvant de l'eau de mer augmentait avec la pression. Le fait de la présence en plus grande quantité de l'acide carbonique, sur le fond et dans les eaux intermédiaires, est évidemment étroitement lié aux phénomènes de respiration et de décomposition des organismes vivant sur le fond.

Lorsqu'un organisme calcaire meurt à la surface, sa coquille tombe sur le fond ; durant sa descente elle se trouve exposée à l'action dissolvante de l'eau de mer et de l'acide carbonique dégagé par la décomposition de la matière organique qui la remplit. Dans le cas des Hétéropodes et des Ptéropodes, qui ne possèdent qu'une coquille excessivement mince, la dissolution sera complète à environ un millier de mètres de profondeur et bien rarement des coquilles de ce genre atteindront les grands fonds. Murray estime que les 80 $^0/_0$ des coquilles, qui de la surface tombent sur le fond, atteignent la profondeur de 900 mètres. Les 50 $^0/_0$ seulement atteindraient 2700-3600 mètres et cela dans un état de partielle dissolution.

Deux facteurs semblent entrer en jeu dans la question de l'absence de calcaire dans les grands fonds comme l'argile rouge abyssale : la non saturation de l'eau à cette profondeur et la pression. L'eau du fond n'étant pas saturée de carbonate de chaux, comme

1. Reid.

l'eau de fond au dessus d'une vase à globigérines ou à ptéropodes, dissoudra facilement les coquilles qui auraient pu résister à l'action dissolvante de l'eau durant leur descente. Il faut également faire intervenir la pression, qui est de une atmosphère par dix mètres, qui facilite considérablement la dissolution du carbonate de chaux.

Toutes les coquilles qui contiennent une grande quantité de tissus organiques entrent en solution beaucoup plus rapidement que les coquilles de foraminifères qui n'en contiennent qu'une faible quantité. Durant toute la croisière du « Challenger » on ne rencontra, dans les dépôts dragués, *que deux os de poissons* autres que les dents et les otolithes; exception faite des os tympaniques, qui sont excessivement résistants, on ne rencontra aucune trace d'os de cétacés. Les restes de crustacés faisaient également généralement défaut.

Jetons maintenant un coup d'œil sur les récifs coralliens et nous verrons que là encore une grande quantité de carbonate de chaux entre en solution, surtout dans la lagune; grâce au mouvement de l'eau provenant des marées et des courants, il n'y a jamais de saturation et l'attaque de ce fait est continuelle.

L'étude de la formation du carbonate de chaux et de sa dissolution dans les mers actuelles nous amène à considérer une sorte de cycle : le carbonate de chaux sécrété par les organismes est dissous dans l'eau de mer après leur mort et sera assimilé par d'autres organismes. Mais la quantité sécrétée par les animaux étant supérieure à celle qui entre en solution, il en résulte une vaste accumulation de carbonate de chaux sur le

fond des mers actuelles. Le même fait s'est passé dans les océans des périodes géologiques, car presque tout le calcaire des formations sédimentaires doit son origine aux organismes. A l'heure qu'il est, la plus grande partie du carbonate de chaux charrié par les rivières dans l'océan, dérive de la dissolution des calcaires de la série sédimentaire, tandis que le carbonate de chaux des premières mers des périodes géologiques provenait de la décomposition de silicates qui formaient la première base de l'écorce terrestre.

Sir John MURRAY a calculé que la quantité de calcium en solution dans l'océan est de 628.340.000.000.000 tonnes. La quantité de calcium amenée en solution par les rivières est annuellement d'environ 925.866.500 tonnes. Il faudrait donc 680.000 ans pour que les rivières amènent une quantité de calcium égale à celle qui se trouve en dissolution dans l'océan.

CHAPITRE VI

LA SILICE D'ORIGINE ORGANIQUE

Nous avons vu dans un chapitre précédent le rôle important que joue le carbonate de chaux dans les dépôts marins, étudions maintenant le corps qui peut être envisagé en quelque sorte comme son antagoniste : la silice.

La silice (SiO^2) est probablement le corps le plus répandu dans l'écorce terrestre. Lorsque la surface de notre planète était à une haute température, il est probable que la silice était combinée, à l'état de silicate, avec la chaux, la magnésie, le fer, l'alumine et

les alcalis. A température élevée la silice a une grande affinité pour les bases, mais à la température ordinaire elle est déplacée de ses combinaisons par l'anhydride carbonique (CO^2). L'anhydride carbonique, depuis les premières périodes géologiques, fut extrait de l'atmosphère pour être fixé dans l'écorce terrestre. Dans les différents processus de décomposition des roches continentales, l'acide carbonique remplace la silice dans ses composés ; cette dernière étant mise en liberté formera des variétés cristallines comme le quartz ou des variétés hydratées comme l'opale.

§ 1. — *Organismes sécrétant de la silice.*

Bien que le nombre des organismes sécrétant de la silice pour former leurs spicules, frustules et squelettes soit très grand, la silice d'origine organique joue un rôle bien moins important, dans la formation des sédiments marins, que le carbonate de chaux.

Les organismes siliceux des mers actuelles se divisent en : *éponges* qui sont benthiques, en *diatomées* et *radiolaires* qui sont planktoniques et benthiques.

L'aire de dispersion des éponges est très grande, leurs embryons nageant librement. Elles sont plus abondantes dans les boues bleues, les vases à diatomées et à radiolaires que dans les vases à globigérines et à ptéropodes. Leurs spicules ne forment généralement pas plus de 1 ou 2 °/o d'un dépôt, sauf dans des localités où ces organismes vivent en grande quantité sur le fond et où leurs spicules peuvent former jusqu'à 20 °/o du poids total d'un échantillon du fond.

Les spicules d'éponges siliceuses sont formés par

de l'opale contenant de 7 à 13 °/₀ d'eau, et résistant mal à l'action de l'eau de mer, comme le prouvent certains signes d'altération, comme l'élargissement du canal axial et l'amincissement ou même la disparition des parties fines.

Les diatomées, algues siliceuses, vivent dans tous les estuaires et en général partout où l'on trouve une eau d'une faible salinité, provenant d'un mélange d'eau douce ; on les trouve aussi, mais pas en si grande quantité, dans les eaux les plus salées. Elles sont la plus abondante source de silice d'origine organique des dépôts marins. On les rencontre en grande quantité dans les eaux froides de l'océan Antarctique et dans celles du Pacifique nord. Elles remplissent les filets à plankton d'une substance jaunâtre qui, une fois séchée à l'étuve, prend une structure rappelant celle de l'asbeste. Elle contient les corps suivants[1] :

Silice soluble dans l'acide.	1,00
Silice insoluble	76,00
Alumine	1,38
Matière organique . . .	16,75
Eau	4,87
	100,00

Dans l'océan Arctique ainsi que près des îles Shetland on rencontre quelquefois des diatomées formant d'immenses bancs flottants, longs de plusieurs kilomètres sur une épaisseur de quelques mètres. Dans un même océan, à la même place, leur abondance peut être très variable à diverses époques de l'année.

1. MURRAY, 14, p. 231.



Ces algues siliceuses, tout comme les algues calcaires, vivent dans les couches supérieures des eaux exposées à la lumière du soleil. Elles constituent la nourriture d'une grande quantité d'animaux marins, à la surface comme sur le fond, car elles possèdent encore une certaine quantité de matière nutritive après être tombées sur ce dernier.

Contrairement aux diatomées, les radiolaires vivent dans la haute mer et préfèrent les eaux chaudes et relativement tranquilles du Pacifique. Ils sont très rares dans les eaux salées de la mer Rouge, de la Méditerranée et de l'Océan Atlantique. Les pêches du « Challenger » ont montré que certaines espèces vivent dans les eaux intermédiaires où la température descend jusqu'à 4°.

Dans les dépôts de mer profonde de l'Atlantique, les restes de diatomées, radiolaires et éponges siliceuses ne représentent que le 1 1/2 °/₀ du sédiment, tandis que dans le Pacifique ils représentent les 6 °/₀ et dans les dépôts des mers antarctiques les 16 °/₀. Dans certaines régions les restes d'organismes siliceux jouent un rôle très important dans la formation des fonds marins, comme dans le Pacifique central où ils forment jusqu'à 60 pour 100 du poids total d'un échantillon de vase.

§ 2. — *D'où les organismes marins extraient-ils leur silice ?*

Nous avons vu, dans un chapitre précédent, qu'il est impossible d'admettre que le carbonate de chaux soit absorbé directement par les organismes, en raison de la faible quantité de carbonate en dissolution

dans l'eau de mer : 1 partie en 10000. De plus, nous savons maintenant que les organismes extraient leur carbonate de chaux, grâce à différentes réactions chimiques, de n'importe quel sel de chaux en solution dans l'eau de mer.

Une difficulté du même genre se présente lorsqu'on étudie les organismes sécrétant de la silice. D'après MURRAY et IRVINE, il n'y a qu'une partie de silice soluble dans 200.000 à 500.000 parties d'eau de mer filtrée; il semble donc, à première vue, impossible que les organismes extraient leur silice uniquement de l'eau de mer, car il faudrait qu'ils fassent passer une trop grande quantité d'eau au travers de leur corps. D'autre part aucune explication du genre de celle de l'assimilation des différents sels de chaux par les organismes n'est possible avec la silice, cette dernière n'étant présente en solution que sous une forme unique.

D'après MURRAY et IRVINE, il faut chercher la source de la silice, dont les organismes font leurs frustules et squelettes, dans la vase qui reste toujours en suspension dans l'eau de mer.

Le tableau suivant donne une idée de la quantité de

	Dans 14 l. d'eau	Par kilomètre cube d'eau.
I. Firth of Forth, 1 mille de la côte.	0,0259 gr.	1850 tonnes.
II. Atlantique Lat. 51°20', Long. 31° W.	0,0052 —	371 —
III. Mer du Nord, 30 milles E. de l'île de May	0,0063 —	450 —
IV. Méditerranée, centre du bassin E	0,0065 —	464 —
V. Mer Baltique, densité 1005,5 . .	0,0105 —	750 —
VI. Mer Rouge	0,0006 —	43 —
VII. Océan Indien, Lat. 15°46' N. Long. 58°51' E.	0,0006 —	43 —

matière argileuse en suspension dans l'eau de surface, prise à des points éloignés des terres.

Ces résultats montrent qu'il y a de la matière argileuse en suspension dans l'eau de surface des océans et cela même dans les eaux les plus chaudes et les plus salées.

Lorsqu'on étudie des séries d'échantillons d'eaux, collectées à différentes profondeurs, on arrive à la conclusion que *la quantité de matière argileuse en suspension augmente lorsque la température et la densité baissent.*

Cette loi a été confirmée par les expériences de Murray et Irvine, effectuées à la station maritime de Granton près Edimbourg. Après avoir mélangé de la matière argileuse avec de l'eau de différentes températures et salinités, ces savants pesèrent la quantité restée en suspension après 24, 96 et 120 heures. Ils arrivèrent ainsi aux résultats suivants :

TEMPÉRATURE 26°,67

DENSITÉ	1000	1005.6	1010	1015	1020	1025	1028	
Après 24 h.	0.0623	0.0048	0.0028	0.0020	0.0018	0.0018	0.0018	Grammes par litre
— 96 —	0.0723	0.0028	0.0018	0.0013	0.0013	0.0010	0.0010	
— 120 —						0.0003	0.0003	

TEMPÉRATURE 4°,44 à 10°

DENSITÉ	1000	1005.6	1010	1015	1020	1025	1028	
Après 24 h.	0.1215	0.0113	0.0073	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	Grammes par litre
— 96 —	0.0658	0.0028	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013	
— 120 —						0.0010	0.0010	

Ces chiffres, ainsi que ceux indiquant la teneur en argile des eaux de surface, montrent que toute la vase, amenée par les fleuves dans l'Océan, n'est pas précipitée complètement au moment du mélange de l'eau douce avec l'eau salée et qu'une partie est emmenée au large par les vagues et les courants marins.

Nous avons vu précédemment, en parlant de l'habitat des organismes siliceux, que les diatomées pullulent dans les eaux côtières de faible densité et chargées de matières argileuses, ainsi que dans les eaux froides de l'océan Antarctique et de la mer du Nord. Les radiolaires abondent dans les eaux du Pacifique occidental et dans celles des régions orientales de l'océan Indien qui possèdent une densité relativement faible. On rencontre également ces rhizopodes siliceux dans les eaux intermédiaires où la température peut s'abaisser jusqu'à 4°.

Ces faits prouvent donc que *les organismes siliceux sont plus abondants dans les parties des océans qui contiennent le plus de matière argileuse en suspension.*

Cette constatation amena MURRAY et IRVINE à faire

les expériences suivantes aux fins de connaître les conditions sous lesquelles la silice est assimilée par les organismes. Dans ce but ils préparèrent une solution représentant la nourriture minérale des plantes selon la formule de Sachs :

Eau distillée	2000	grammes
Chlorure de sodium . .	1	—
Nitrate de potasse . . .	2	—
Sulfate de chaux . . .	1	—
Sulfate de magnésie . .	1	—
Phosphate de chaux . .	1	—
Chlorure ferrique . . .	1	—

A. Dans cette solution ils placèrent quelques diatomées (Navicula) ainsi qu'une petite quantité d'acide silicique sous forme de gelée. En 17 jours, le nombre des diatomées augmenta ; elles possédaient la couleur jaune vert caractéristique de la chlorophylle et dégageaient de l'oxygène à la lumière du soleil.

B. Une partie des diatomées de l'expérience précédente fut soigneusement lavée afin d'enlever toute trace d'acide silicique et fut placée dans une solution fraîche de Sachs, mais sans addition d'acide silicique. Les plantes continuèrent à vivre pendant quelques jours, puis dépérirent graduellement, en sorte que 27 jours après elles présentaient tous les aspects d'organismes morts, dépourvues qu'elles étaient de leur couleur verte et cessant de dégager de l'oxygène.

C. Une autre partie des diatomées de la première expérience fut placée également dans une solution fraîche de Sachs mais cette fois avec addition d'argile finement pulvérisée et ne contenant aucune matière

soluble. Après un temps relativement court la matière argileuse fut complètement décomposée en une substance qui, sous le microscope, apparut pleine de diatomées vivantes possédant la couleur caractéristique jaune vert de la chlorophylle.

Il résulte de ces expériences que les diatomées sont capables de décomposer l'argile ou silicate d'alumine et de fixer ensuite la silice résultant de cette décomposition.

Cette conclusion fut encore confirmée par les expériences suivantes;

1° Des diatomées introduites dans une solution de Sachs contenant du silicate de chaux se développèrent abondamment.

2° Des diatomées introduites dans une solution, où l'on remplaça le silicate de chaux par de la silice amorphe, périrent dans l'espace de 4 mois.

3° Au bout de 4 mois, des diatomées se développèrent dans une solution de Sachs contenant de la vase à diatomées. Ce développement est dû, sans aucun doute, à la silice soluble que contient ce dernier sédiment. Il est bien évident que cette source de silice est inapplicable aux diatomées, tandis qu'elle peut être fort bien attribuée aux éponges qui vivent dans la vase.

Comme nous le savons, toutes les plantes contiennent de la silice qu'elles absorbent du sol où elle est combinée à l'état de silicates insolubles. Nous nous trouvons donc en présence d'une action semblable à celle qui se passe dans le cas des diatomées.

En résumé, les expériences de Murray et Irvine montrent que les diatomées extraient leur silice de

l'argile ou silicate d'alumine en suspension dans l'eau.

Les éponges croissent dans la boue et possèdent des spicules qu'elles fixent dans le fond où la matière organique en décomposition est abondante. Sous l'influence de cette matière organique en décomposition, nous avons formation de sulfures alcalins, provenant de la réduction des sulfates en solution, qui décomposent l'argile. La silice soluble ainsi mise en liberté serait, d'après MURRAY et IRVINE, fixée par les éponges.

D'après ces auteurs, il ne serait même pas impossible que les diatomées flottant à la surface extraient leur silice de cette même façon; la matière organique en décomposition existant dans l'eau qui elle-même tient en suspension de l'argile.

Nous trouvons une dernière preuve de la décomposition de l'argile par les diatomées dans le fait de la présence d'alumine dans des diatomées de l'océan Antarctique, comme le montre l'analyse chimique que nous avons donnée à la page 233.

En comparant les chiffres exprimant la quantité de matière argileuse en suspension dans l'eau de mer et ceux donnant la quantité de silice en solution dans l'eau de mer, on remarque que la silice en solution l'emporte sur celle combinée dans l'argile en suspension. Bien que dans les deux cas la quantité de silice soit suffisante pour permettre le développement des diatomées, MURRAY et IRVINE préconisent l'assimilation de la silice par décomposition de l'argile, théorie prouvée par des faits d'observation et expliquant le mieux la distribution de ces organismes.

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAPITRE I

LES CENDRES VOLCANIQUES

Aux points éloignés des terres, où ni l'action des vagues et des rivières, ni celle des courants ne peuvent amener les débris arrachés aux continents, les produits volcaniques, comme MURRAY fut le premier à le montrer, jouent le rôle le plus important parmi les éléments minéralogiques qui se déposent sur le lit des océans.

Les ponces, grâce à leur structure, sont entraînées loin des côtes et, après avoir flotté pendant un certain temps, s'accumulent sur le fond de la mer et s'y décomposent.

Les produits volcaniques incohérents, projetés du cratère sous la forme de lapilli, de sables et de cendres, transportés par les courants aériens à des distances considérables, s'ajoutent à leur tour aux ponces qui s'étalent sur les bassins océaniques.

MURRAY[1] a fait remarquer que des fragments de

1. MURRAY, 1.

ponce arrondis flottaient loin des côtes et que, dans certaines régions où les sédiments s'accumulent lentement, le lit de la mer est recouvert d'un dépôt composé essentiellement d'esquilles vitreuses provenant de la trituration des roches ponceuses.

Comme l'ont montré MURRAY[1] et RENARD, les faits signalés lors de l'éruption du Krakatau permettent de nous rendre compte de la manière dont s'opèrent dans la mer l'usure et la trituration de ces fragments.

La baie de Lampoung, dans le détroit de la Sonde, fut bloquée par une vaste accumulation de ponce projetée en quelques heures par l'éruption du Krakatau. Cette barre flottante avait une longueur d'environ 30 kilomètres sur 1 kilomètre de largeur et 3 à 4 mètres d'épaisseur ; elle s'élevait à 1 mètre au-dessus de la surface et plongeait de 2 mètres sous l'eau, c'est dire que 150.000.000 de mètres cubes de matières volcaniques s'étaient accumulés.

La friabilité de ces roches poreuses, l'agitation des vagues qui provoque l'usure de ces blocs pressés les uns contre les autres et nageant à la surface, rendent bien compte de cet aspect de cailloux roulés, que nous offrent les ponces draguées dans l'océan. Les seules aspérités qu'on observe sont dues à des cristaux ou à des fragments de cristaux, en relief dans la masse vitreuse, qui présente moins de résistance à l'usure que les minéraux qu'elle cimente.

On comprend aisément que cette trituration donne naissance à une immense quantité de fragments de

1. MURRAY, 4.

ponce pulvérulente, qui contribuent, dans une large mesure, à former les sédiments pélagiques.

C'est surtout la structure des particules vitreuses microscopiques qui permet de distinguer, dans un dépôt marin, tout comme dans une précipitation atmosphérique, la nature éruptive des poussières. Le caractère essentiel qui distingue des laves les cendres et les lapilli, n'est pas la prépondérance de la matière vitreuse, mais bien le nombre prodigieux de bulles gazeuses, emprisonnées dans la ponce et dans l'élément vitreux des cendres volcaniques. Ces bulles gazeuses sont dues, comme nous le savons, à l'expansion des gaz dissous dans le magma et qui déterminent l'éruption. C'est cette même texture bulleuse qui permet à ces corps d'être transportés à de si grandes distances du centre d'éruption.

Murray et Renard comparèrent les fragments vitreux et les minéraux des cendres du Krakatau à ceux que nous trouvons dans les sédiments de mer profonde et les trouvèrent identiques. Nous pouvons donc conclure que ces derniers ont bien une origine analogue à celle des cendres volcaniques. Dans certains sondages, la hornblende prédomine sur l'augite, dans d'autres le mica noir est abondant ; quelquefois on découvre du péridot en cristaux plus ou moins fragmentaires, de la sanidine, plus rarement de l'amphigène et de l'haüyne. On comprend aisément ces différences, si l'on tient compte de la nature du magma qui a donné naissance aux cendres distribuées dans ces diverses régions de la mer. C'est la prédominance des particules vitreuses, caractérisées par leur structure spéciale, qui nous indique de la manière la

plus concluante la nature volcanique des matières minérales d'un sédiment.

La trituration des ponces à la surface de la mer donne naissance, comme nous l'avons vu plus haut, à une poussière vitreuse qu'il est difficile de distinguer des esquilles projetées des volcans, à l'état de cendres impalpables. Cette poussière vitreuse est, de ce fait, bien plus abondante dans les sédiments pélagiques, que dans les cendres volcaniques recueillies sur les terres.

Il existe, comme nous le savons, une sorte de triage des cendres volcaniques transportées par les courants aériens, de même les matières volcaniques incohérentes qui tombent sur le fond des mers sont soumises à une sorte de lévigation. Lorsque ces cendres tombent dans les eaux, les parties les plus lourdes atteignent le fond les premières et forment la couche inférieure du dépôt ; les plus légères formeront la couche supérieure. Il se forme ainsi, sur le fond de la mer, une sorte de stratification des éléments d'une même éruption. Murray et Renard en trouvèrent un exemple dans un fragment de tuf sous-marin du centre du Pacifique. Cet échantillon était entièrement recouvert de manganèse ; on y voit à la base d'assez grands cristaux de hornblende et des particules de magnétite. Cette couche inférieure est surmontée d'une zone où ces minéraux et les grains les plus grossiers passent graduellement vers le haut à un amas stratifié où le feldspath, les débris de ponce vont en augmentant tout en diminuant de volume.

CHAPITRE II

VERRE VOLCANIQUE BASIQUE ET PALAGONITE

Le « Challenger » dragua en plusieurs points, en eau profonde, des lapilli et des fragments de verre volcanique basique provenant d'éjections sous-marines.

Les dimensions des lapilli varient de celles d'une



Fig. 29. — Fragments de verre volcanique, filamenteux, incolore. Pacifique. 3825 mètres. « Nero ». $\frac{15}{1}$.
(D'après J.-M. Flint)

noix à celles d'un pois ; de petits fragments atteignent le diamètre des minéraux qu'on rencontre dans les vases profondes.

Ce n'est qu'en suivant la transition des grands frag-

ments aux petits qu'on arrive à déterminer ces fines esquilles. Généralement ces fragments, quelles que soient leurs dimensions, sont partiellement transformés en un produit secondaire connu sous le nom de « Palagonite ».

Souvent ces lapilli forment le nucleus des nodules de manganèse. Les plus grands ont généralement un centre vitreux recouvert de matière décomposée ; les plus petits sont généralement entièrement transformés en palagonite.

Si nous étudions un de ces gros fragments, formant le centre d'un nodule de manganèse, nous voyons que sa surface est formée d'un enduit jaune verdâtre ou brun rouge. Si l'on casse le fragment, le centre apparaît comme un véritable verre non décomposé qui ressemble à un verre acide, l'obsidienne par exemple, mais dont la cassure est moins conchoïdale. La densité de ce verre varie de 2,8 à 2,9. Son enduit superficiel est très magnétique et donne toujours la réaction du manganèse. La dureté du centre vitreux est d'environ 5, tandis que celle de l'enduit palagonitique, une fois séché, peut atteindre 4; lorsqu'on retire ces fragments de la mer, cette dernière substance est facilement sectile au couteau.

L'enduit palagonitique est disposé en zones concentriques de différentes couleurs, marquant la transformation successive du verre en palagonite. Les zones externes sont en général d'une couleur plus pâle que les internes; elles sont en outre d'une structure plus délicate et sont quelquefois si minces qu'on ne peut les distinguer que sous le microscope.

Les analyses suivantes de MURRAY et RENARD

montrent clairement la différence qui existe entre le verre basique et son enduit palagonitique :

Station 276 « Challenger » Profondeur 4298 m.

	verre basique		palagonite
SiO^2	46,76		44,73
Fe^2O^3	1,73		14,57
FeO	10,92		—
Al^2O^3	17,71		16,26
MnO	0,44	MnO^2	2,89
CaO	11,56		1,88
MgO	10,37		2,23
K^2O	0,17		4,02
Na^2	1,83		4,50
	101,49	H^2O	9,56
			100,64

Ces résultats nous montrent que l'enduit de palagonite est dû à l'hydratation du verre basique, à l'oxydation du fer ferreux, à l'élimination de chaux et de magnésie et à un apport d'alcalis. Nous avons dans la constitution chimique de la palagonite un acheminement, en quelque sorte, vers les zéolithes.

CHAPITRE III

LES POUSSIÈRES COSMIQUES

Les poussières cosmiques furent rencontrées, pour la première fois, dans les sédiments actuels, par Murray, lors de la campagne du « Challenger ». Leur présence, limitée aux sédiments argileux des grands

fonds du Pacifique, amena MURRAY et RENARD à en déduire une accumulation excessivement lente de ces dépôts. Si l'on ne rencontre que très rarement ces poussières cosmiques dans les autres sédiments actuels, c'est qu'elles sont perdues et ensevelies au milieu de dépôts s'accumulant rapidement.

§ 1. — *Les sphérules magnétiques.*

Si l'on promène un barreau aimanté dans certains dépôts pélagiques, l'argile rouge du Pacifique par exemple, on en extrait des particules magnétiques



Fig. 30. — Sphérule noire avec centre métallique $\left(\frac{60}{1}\right)$. Cette sphérule est recouverte d'un enduit luisant de magnétite ; elle représente la forme la plus commune. La dépression qu'on remarque à la surface s'observe presque toujours dans ces sphérules. Recueilli à 4344 mètres, sud du Pacifique (D'après MURRAY et RENARD).

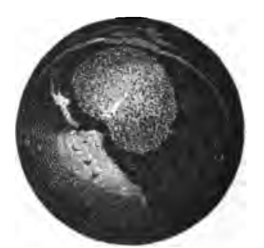


Fig. 31. — Sphérule noire avec centre métallique $\left(\frac{60}{1}\right)$. L'enduit d'oxyde magnétique a été brisé pour mettre à découvert le nucleus métallique indiqué par la partie éclairée vers le centre. Recueilli à 5761 mètres, dans l'Atlantique (D'après MURRAY et RENARD)

dont quelques-unes, encore attachées à des enduits

vitreux, sont de la magnétite provenant des roches et cendres volcaniques. D'autres grains, également magnétiques, sont parfaitement isolés et diffèrent grandement des premiers.

Ils sont généralement parfaitement sphériques, d'un diamètre ne dépassant pas 0,2 mm. et généralement plus petit. Leur surface est constituée par un enduit noir brillant d'oxyde de fer magnétique. Souvent des dépressions plus ou moins accentuées s'observent à la périphérie. Lorsqu'on brise une de ces sphérules, l'enduit noir brillant se détache facilement et met à découvert un nucleus de métal grisâtre, ductile, que l'on peut écraser avec un pilon. Ce centre métallique, traité sous le microscope avec du sulfate acide de cuivre, se recouvre à l'instant d'une couche de cuivre ; ce nucleus est donc du fer.

Quelques-uns de ces nuclei de globules magnétiques ne donnent pas cette réaction. L'analyse qualitative chimique montre qu'ils contiennent du nickel et du cobalt ; c'est probablement un alliage de fer et de ces métaux, comme on l'a souvent constaté dans les météorites.

Rose signala à la périphérie de météorites riches en fer, un enduit d'oxyde magnétique, dont on comprend facilement la formation dans l'hypothèse de l'origine cosmique. Durant leur trajet au travers de l'atmosphère, les particules météoriques de fer natif subissent une véritable combustion et se transforment en tout ou partie en oxyde magnétique ; dans ce dernier cas le nucleus est alors mis à l'abri de l'oxydation par l'enduit qui le recouvre.

Murray et Renard supposent donc que ces sphé-

rules magnétiques sont des fragments ou débris de météorites.

§ 2. — *Les chondres.*

Accompagnant les sphérules magnétiques, nous trouvons dans les sédiments marins actuels des granules un peu plus grands que ceux à enduit noir décrits plus haut. Ils sont également attirables à l'aimant, d'une couleur brun jaunâtre à éclat bronzé. Sous le microscope on remarque que leur surface est striée au lieu d'être lisse comme celle des sphérules



Fig. 32. — Sphérule de bronzite montrant l'aspect des chondres trouvés dans les sédiments de mer profonde. Recueilli à 6401 m. au sud du Pacifique par le « Challenger » (D'après Murray et Renard), $\left(\frac{25}{1}\right)$.

magnétiques à centre métallique. Leur diamètre n'atteint pas un millimètre, il est d'environ 0,5 mm. en moyenne. Ils ne sont jamais parfaitement sphériques comme c'est le cas pour les globules noirs brillants. Ils possèdent presque toujours à la surface un petit enfoncement plus ou moins prononcé.

Sous le microscope on voit que les lamelles qui les constituent sont appliquées les unes contre les autres, affectant une disposition radiale excentrique qui n'est autre que la structure des chondres de bronzite. Il est assez rare qu'on rencontre la structure grenue des chondres à olivine. Les chondres de bronzite se brisent très facilement en lamelles transparentes. Aux forts grossissements on observe que ces lamelles sont criblées d'inclusions brun noirâtre disposées avec une certaine symétrie et offrant des contours vaguement réguliers rappelant les cristallites. MURRAY et RENARD rapportent ces inclusions au fer magnétique. La présence de ces inclusions explique comment ces sphérules sont attirables à l'aimant quoique étant moins magnétiques que les sphérules noires à enduit luisant et à centre métallique.

MURRAY et RENARD rapportèrent ces chondres à la bronzite plutôt qu'à l'enstatite, à cause de leur teinte foncée. Ils sont insolubles dans l'acide chlorhydrique et montrent à l'analyse qualitative qu'ils se composent de silice, de magnésie et de fer. Ces corps globulaires se rapprochent donc par tous leurs caractères essentiels des chondres des météorites. Ces sphérules se trouvent non seulement dans les sédiments, mais aussi dans la partie externe des nodules de manganèse ainsi que dans l'enduit de manganèse qui recouvre les dents de squales.

La présence de ces chondres, qui n'ont jamais été signalées dans des roches d'origine terrestre, vient en quelque sorte confirmer l'interprétation d'une origine cosmique pour les granules magnétiques à centre métallique dans les sédiments marins.

IVe PARTIE

FORMATIONS CORALLIENNES

CHAPITRE I

ESPÈCES CORALLIGÈNES

L'étude des formations coralliennes constitue un des plus intéressants chapitres de la géodynamique externe; car ces constructions, élevées par des êtres tout à fait inférieurs, contribuent à ajouter au domaine de la terre ferme. Leur étude pourra éclairer d'un jour nouveau des questions importantes, telles que la formation de l'océan Pacifique et de l'océan Indien.

Les espèces coralligènes, c'est-à-dire sécrétant du carbonate de chaux et capables d'en construire des récifs, se divisent en *Polypiers* ou *Polypes coralliaires*, *Hydraires* et *Bryozoaires* appartenant au règne animal, tandis que la dernière catégorie, comprenant les *Nullipores* et les *Corallines*, algues calcaires, appartiennent au règne végétal.

Bien que vivant en colonies les bryozaires ont une dispersion géographique assez grande et à l'exception des récifs de la Floride, les régions riches en coraux sont pauvres en bryozoaires.

CHAPITRE II

CONDITIONS DE VIE DES ESPÈCES CORALLIGÈNES

Le développement des coraux dépend de trois facteurs différents qui sont : la profondeur, la température de l'eau de mer et sa transparence.

Dana donna comme limite de la profondeur où vivent les coraux constructeurs, 46 mètres. Tout récemment M. Stanley Gardiner[1], durant son exploration de l'océan Indien à bord du « Sealark », effectua plus d'une centaine de sondages sur les bancs submergés des Seychelles aux fins de déterminer aussi exactement que possible la limite inférieure qu'atteignent les polypes constructeurs et les nullipores. Il fut ainsi amené à abaisser la limite de Dana de 46 mètres *à 64 mètres pour les coraux et à 120 mètres pour les nullipores*.

L'eau des océans est sur le fond, même à l'équateur, à une température d'environ 2 degrés, tandis qu'à la surface, sous les tropiques, nous trouvons une couche d'eau relativement mince, dont la température varie de 21 à 29 degrés. Cette couche est plus épaisse dans les parties occidentales de l'Atlantique et du Pacifique que dans les parties orientales ; ce fait est dû à la circulation océanique. En effet, les côtes orientales des continents sont jalonnées par des courants chauds qui descendent des régions équatoriales, tandis que les côtes occidentales sont baignées par des courants froids, venant des régions antarctiques. Nous trou-

1. Gardiner, 3, p. 455.

vons, dans la distribution des récifs coralliens, une conséquence directe de la circulation océanique ; il n'y a pas de formations coralliennes le long des côtes occidentales de l'Afrique et de l'Amérique, tandis qu'à latitude égale nous les trouvons sur les côtes orientales. Près du cap Gardafui, sur la côte orientale de l'Afrique où la mousson du S. W. souffle pendant plusieurs mois de l'année, amenant de l'eau froide de la profondeur à la surface, nous ne rencontrons pas de formations coralliennes, tandis qu'au nord et au sud de cette zone elles existent.

On rencontre les formations coralliennes en plein océan, ou le long des côtes des continents baignées par des courants venant directement de la haute mer. Si l'on fait exception pour les Bermudes où la température tombe jusqu'à 17°,7, on peut dire que ces formations ne se trouvent pas dans les régions où la température est inférieure à 20° et où la variation dépasse 6 degrés. Dans les régions typiques, la température est même plus élevée et la variation annuelle plus faible.

L'eau ambiante doit être salée et parfaitement limpide, toute atténuation de la salure de l'eau, ainsi que tout mélange de vase ou troubles quelconques est une cause de mort immédiate pour les polypes constructeurs.

CHAPITRE III

LIMITE BATHYMÉTRIQUE DES ESPÈCES CORALLIGÈNES

D'après M. Stanley GARDINER[1] les organismes prédominant dans la formation de la roche, entre la surface et la profondeur de 9 mètres sont, dans les récifs de l'océan Indien, ceux du genre *Lithothamnium* (nullipores). Les genres les plus importants comme constructeurs, observés sur les pentes extérieures des récifs de la profondeur de 9 à 27 mètres, sont :

Madrepora, *Pocillopora*, *Astraeopora*, *Orbicella*, *Astraea*, *Prionastrea*, *Montipora*, *Coeloria*, *Pavonia* et *Porites*. Un certain nombre de genres, absents à la surface, ont une grande importance comme constructeurs dans les limites de 30 à 70 mètres, ce sont : *Dendrophyllia*, *Goniopora*, *Alveopora et Seriatopora*. Les genres *Millepora et Heliopora* qui étaient généralement considérés comme des formes vivant à la surface des récifs, n'ont jamais été rencontrés, dans les Maldives, entre la surface et 37 mètres. *Heliopora* fut rencontré sur la pente de l'atoll de Funafuti (groupe des îles de l'Ellice, par 8°30′ 45″ lat. S et 179° 13′ 30″ de long. E.) entre 65 et 80 mètres de profondeur, *Millepora* à environ 45 mètres.

1. GARDINER, 2 vol. I, part. 3, note, p. 316.

CHAPITRE IV

CROISSANCE DES CORAUX ET DES RÉCIFS CORALLIENS

Déterminer la vitesse de croissance d'un récif, d'une lagune, d'un bas fond exposé aux courants marins, sont autant de problèmes différents et difficiles à résoudre, mais dont la solution est intéressante au point de vue scientifique, utile si ce n'est nécessaire au point de vue pratique c'est-à-dire pour la navigation.

Cette question si délicate de la vitesse de croissance des récifs coralliens fut résumée en 1890, par DANA qui estimait à cette époque qu'un récif croissait de 5 pieds en 1000 ans. Depuis DANA cette question, qui ne fut qu'effleurée par M. Alexander AGASSIZ, fut reprise ces dernières années par M. Stanley GARDINER [1], l'infatigable explorateur de l'océan Indien.

Les calculs de ce savant sont basés sur des coraux recueillis dans un canal artificiel d'Hulule, une des îles au S. E. de l'atoll de North Male, qui met en communication un étang, servant de port au sultan, avec la mer. Ce canal, d'une profondeur de 4 pieds à marée basse, est nettoyé tous les trois ans. Les collections de M. GARDINER furent récoltées en 1900, c'est-à-dire peu de temps avant le curage habituel, le dernier ayant été effectué en 1897. La hauteur des coraux représentait donc la croissance *ab ovo*, entre 2 ans 10 mois et 3 ans. Les conditions du canal d'Hulule n'étant ni favorables, ni impropres à la croissance des coraux, nous nous trouvons donc en présence

1. GARDINER, 2, vol. I, part. 3, p. 327.

d'un cas de croissance moyenne. De cette façon M. GARDINER estime que le récif d'Hulule progresserait à raison de 1,80 mètre en 60 ans. Mais le principal intérêt du problème réside dans la vitesse d'accroissement, au dehors du récif et sur un banc, atteignant la profondeur nécessaire au développement des coraux. Ce savant estime que les conditions d'existence des organismes constructeurs, dans ces deux derniers cas, doivent être beaucoup plus favorables que dans le canal d'Hulule et admet que leur vitesse de croissance, entre 27 et 9 mètres, est de beaucoup supérieure à celle que nous avons constatée au dedans d'un récif. En considérant tous les facteurs qui entrent en ligne de compte et en n'oubliant pas que la croissance est faible, au moment où commence la construction ainsi qu'au moment où elle atteint la surface, l'explorateur de l'océan Indien estime qu'un bas fond, sous 46 mètres d'eau, peut être recouvert d'une plateforme corallienne en 1000 ans et peut-être moins.

CHAPITRE V

FORMATION DES RÉCIFS CORALLIENS, THÉORIES DE DARWIN ET DE MURRAY

Darwin avait été frappé du fait que les atolls, tout comme les récifs barrières, étaient d'une épaisseur considérable, bien supérieure à la profondeur de 37 m. à laquelle en ce temps-là on estinait qu'il ne se développait plus de formations coralliennes. Se basant

sur ce fait caractéristique il émit une théorie sur la formation des récifs coralliens dite: théorie de l'affaissement, à laquelle l'adhésion de Dana donna un grand poids. Cette théorie, ajourd'hui abandonnée et remplacée par celle de MURRAY, peut se résumer comme suit :

Les coraux commencent à croître près d'une île et

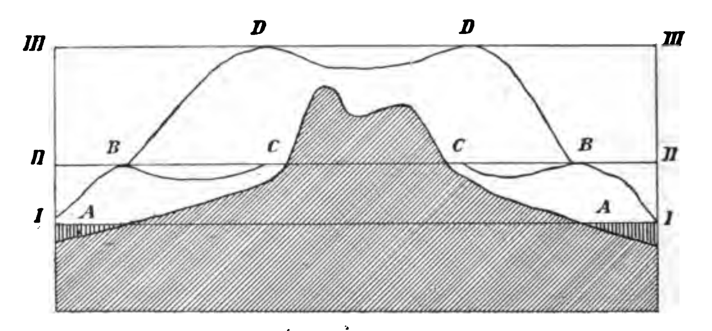


Fig. 33. — Formation d'un atoll, d'après Darwin. I I, II II, III III; niveaux successifs de la mer. A, récif frangeant dans la 1re phase, B, récif barrière; C, récif frangeant dans la 2e phase; D, dernière phase : l'atoll.

forment un *récif frangeant* (fringing reef). L'île s'affaisse et les coraux continuent à croître d'une vitesse proportionnnelle à la vitesse d'affaissement de l'île; le récif frangeant se change alors en un *récif barrière* (barrier reef) séparé de l'île par un chenal. Puis l'île, continuant son mouvement de descente, disparaît totalement, tandis que les coraux croissant toujours ont atteint la surface en formant finalement un *atoll*.

Fort de nombreux faits d'observations recueillis

durant la longue croisière du « Challenger », Sir John MURRAY[1], de retour en Ecosse, combattit la théorie si belle et si simple de DARWIN et donna une nouvelle explication de la formation des récifs coralliens, basée sur la présence d'une grande quantité de cônes volcaniques sur le fond des océans. Voyons donc en quoi consiste cette théorie qui fut confirmée par les travaux de M. Alexander AGASSIZ sur les récifs du Pacifique et récemment par ceux de M. GARDINER sur les récifs de l'océan Indien.

Si nous considérons les profondeurs océaniques, nous les voyons formées par d'immenses plaines ondulées au milieu desquelles s'élèvent des cônes volcaniques isolés comme l'île de Saint-Paul et de l'Ascension ou groupés comme les Açores, les Sandwich et les Fidji. Il existe beaucoup plus de ces cônes volcaniques au-dessous de la surface qu'au-dessus, comme le prouvent les sondages exécutés par les différentes expéditions et les bateaux des compagnies télégraphiques. De Lisbonne à Ténériffe on connaît 7 de ces pics sous-marins. Dernièrement le « Nero »[2] signala une vingtaine de ces élévations sous-marines en étudiant la route d'un câble des îles Sandwich au Japon par les Philippines. Le plus élevé est à 150 mètres de la surface et possède une pente de 70 °/₀. D'autres s'élèvent de profondeurs de 9000 mètres jusqu'à 1200 mètres au-dessous du niveau de la mer. Environ 350 de ces montagnes sous-marines sont actuellement connues, s'élevant des grandes profondeurs jusqu'à de 900 à

1. MURRAY, 3.
2. FLINT.

18 mètres de la surface. Ces cônes continuellement élevés, soit par les restes des organismes benthiques, soit par les restes des organismes de surface, atteindront un jour la profondeur propice au développement des espèces coralligènes.

Chamisso, déjà, attribua la forme des atolls à une croissance plus forte des coraux à l'extérieur, étant

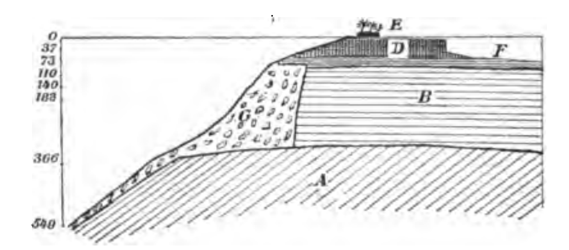


Fig. 34. — Formation de la partie extérieure d'un récif, d'après Gardiner. A, base de roc, abrasée par l'action des courants; B, formation d'un banc par l'accumulation de coraux de mer profonde, de nullipores et autres organismes calcaires. La partie plus fortement ombrée représente le commencement de la croissance des constructeurs et la terminaison des coraux de mer profonde. C, Extension extérieure du récif au moyen de débris enlevés du récif par les courants. D, Partie du récif formée par les coraux constructeurs et les nullipores. E, Terre formée par élévation ou par changement du niveau de la mer. F, Lagune formée : 1° grâce à la croissance plus rapide des organismes à la partie extérieure ; 2° par la dissolution qui a lieu en cette partie.

donné un apport plus fort de nourriture et d'eau fraîche. Sir John Murray compléta cette idée de Chamisso en voyant dans la lagune non seulement la conséquence d'un arrêt dans la croissance des coraux, mais encore celle d'une dissolution du carbonate de chaux par de l'eau chargée d'acide carbonique. M. Stanley

Gardiner fut amené récemment par ses études à modifier quelque peu l'idée de Murray sur la formation des atolls. Cet auteur ne considère pas les coraux comme étant le principal élément des récifs coralliens; pour lui le principal facteur dans la formation d'un atoll est la croissance des algues calcaires du genre *Lithothamnium*. La forme annulaire des atolls ne serait donc pas due à un apport de nourriture pour les coraux, mais à un renouvellement constant d'eau de mer et d'acide carbonique nécessaire au développement des algues, comme le prouve l'existence du « rim[1] » ou rebord de nullipores, ainsi que le fait de la présence presque exclusive des Lithothamnium entre la surface et la profondeur de 9 mètres. La lagune serait due, comme l'a fait remarquer Murray, à une dissolution des coraux morts, ainsi qu'à l'impossibilité qu'ont les coraux d'y vivre, grâce à la boue formée dans la lagune par les organismes perforeurs et se nourrissant de sable, comme vient de le faire remarquer M. Gardiner[2]. En effet l'eau de la lagune étant continuellement mise en mouvement soit par des courants, soit par les marées, tient toujours en suspension une certaine quantité de boue suffisante pour arrêter toute croissance des organismes constructeurs.

Le sondage de l'atoll de Funafuti dans les îles de l'Ellice fut entrepris aux fins d'obtenir des renseignements sur le soubassement d'une île corallienne; bien que ce but n'ait pas été atteint, ce sondage n'en est

1. Voir p. 263.
2. Gardiner, 3, vol. I, part. 3, p. 333.

pas moins très important, comme nous le verrons dans la suite. Tout récemment M. GARDINER[1] dragua au S. W. du récif de la Providence, dans l'océan Indien, par 1544 mètres, une boue composée presque uniquement de cendres volcaniques, de nodules de manganèse, de cendre durcie et de fragments de roche corallienne recouverts d'oxyde de manganèse. Or, en général, autour des îles coralliennes le fond de la mer est recouvert de sable et de boue corallienne qui ici font totalement défaut. Cette absence de sédiment calcaire serait due, d'après cet auteur, à un important courant de fond qui empêcherait tout dépôt. La couche de manganèse qui recouvre les nodules est souvent de 2 à 4 centimètres d'épaisseur, prouvant ainsi que ces derniers ont dû reposer longtemps sur le fond. Nous nous trouvons donc en présence de la première vraie indication de la nature de la fondation sur laquelle s'élève un récif corallien typique; ce fond d'origine volcanique, mis à nu par un puissant courant de fond, représenterait une partie de la fondation sur laquelle s'est élevé le récif de la Providence. La théorie de MURRAY serait donc réellement confirmée par les résultats de ce sondage.

CHAPITRE VI

DESCRIPTION D'UN ATOLL

C'est à marée basse qu'on distingue le mieux les différentes parties d'un atoll. Il apparaît alors géné-

1. GARDINER, 3, p. 328.

ralement séparé de la haute mer par une crête (« rim » des Anglais), de couleur rouge garance qui fait un contraste superbe avec le bleu du ciel, le bleu de la mer et le blanc de l'île. Cette crête (B fig. 35) est composée presque entièrement de nullipores; nous la désignerons dorénavant sous le nom de « rebord de nullipores » ou simplement de « rim ». D'après M. Sollas le rim à Funafuti s'élève à un pied au-dessus de l'eau à marée basse, à marée haute il forme une ligne de brisants. Derrière le rim nous trouvons une plateforme de roche corallienne (C), généralement recouverte d'eau à marée basse et possédant une arête (D) en son milieu. Entre le rim et la plateforme se trouve une légère dépression. La plateforme se continue du côté de l'île par un glacis à faible pente, qui s'élève jusqu'à la limite ordinaire de la marée haute. La plate-

Fig. 35. — Description d'un atoll d'après Sollas. A, niveau de la mer; B, rim ou crête de nullipores; C, plateforme de roche corallienne; D, arête de la plateforme; E, crête extérieure; J, plateforme centrale; L, mound ou levée de la lagune; F, lagune; R, massifs de coraux dans la lagune.

forme et le glacis sont formés d'un calcaire très dur. Au glacis succède une crête à pente rapide qui conduit à l'intérieur de l'île. Cette « crête extérieure » (E) est formée de coraux détachés ou de blocs usés par l'eau, et entassés là par les vagues des tempêtes. En traversant la crête on arrive à une dépression (I) ou « plateforme centrale », formée de roche corallienne dure, séparée de la lagune (F) par une levée de sables et de débris de coraux morts dite « levée de la lagune » ou « mound » (L). La levée de la lagune est due, tout comme la crête extérieure, aux vagues de grandes tempêtes. La levée de la lagune et la crête extérieure, sous l'action des vents, marchent à la rencontre l'une de l'autre, en sorte qu'elles finissent souvent par se confondre avec la disparition de la plateforme centrale.

CHAPITRE VII

STRUCTURE INTERNE D'UN ATOLL, MONTRÉE PAR LE FORAGE DE FUNAFUTI.

§ 1. — *Généralités.*

L'atoll de FUNAFUTI[1] fait partie du groupe des îles d'Ellice par 8°30′45″ de lat. S et 179°13′30″ de long. E. et semblait spécialement approprié à un sondage qui devait révéler la structure interne du récif ainsi que la nature de la roche qui lui sert de soubassement. Bien que la sonde soit descendue jusqu'à la profondeur de 339 mètres, ce forage n'a pas donné les ré-

1. Anonyme **2**.

sultats qu'on en attendait; néanmoins il a procuré un grand nombre d'indications nouvelles sur les phénomènes chimiques et minéralogiques dont les roches coralliennes sont le théâtre. Sur une distance de 227 mètres ou des 2/3, à partir de la surface, la plus grande partie de la roche n'était pas consolidée ou cimentée, les 9/10 des boudins étaient réduits à l'état de poudre. Le dernier tiers était constitué par un calcaire dolomitique et de la dolomie solide donnant un boudin. On ne rencontra aucune trace de minéraux d'origine volcanique, de ponce ou de silice. La roche, qui ne présente aucune stratification, est entièrement d'origine organique, consistant en squelettes de coraux, coquilles de foraminifères avec des algues calcaires appartenant aux genres *Halimeda* et *Lithothamnium*; à ces restes se joignent également des piquants d'oursins, des tubes d'annélides, des spicules de spongiaires, des moules et des coquilles de lamellibranches et de gastéropodes. La formation de cette roche est rendue spécialement évidente par les boudins solides de la partie supérieure du forage et de la terminaison; les coraux qui constituent la partie supérieure appartiennent aux genres *Millepora*, *Heliopora*, *Pocillopora* et *Madrepora*, qui se trouvent dans la roche dans leurs positions de croissance et souvent recouverts de Lithothamnium.

Bien qu'il y ait de grandes différences dans la roche, M. Hinde n'en pense pas moins que nous avons là une formation continue de roche récifale, sans aucun arrêt, de la profondeur de 339 m. à la surface.

§ 2. — *Sondage dans la lagune*[1].

A l'endroit où le sondage fut effectué la profondeur de l'eau était de 30 mètres et la sonde pénétra jusqu'à 43 mètres au-dessous du fond de la lagune. Le fond de la lagune de FUNAFUTI est couvert d'algues calcaires du genre *Halimeda*, dont les feuilles sont couvertes d'organismes adhérents comme les foraminifères des genres *Sagenina* et *Polytrema* et de formes libres parmi lesquelles il faut citer *Amphistegina* et *Heterostegina*. Dans la partie la plus profonde les foraminifères benthiques ne forment que les 10 °/₀ du dépôt, tandis que dans les parties moins profondes cette teneur augmente beaucoup avec l'apparition des genres *Calcarina*, *Tinoporus* et *Meliolina*, tandis que des restes d'*Orbitolites*, *Globigerina* et autres formes pélagiques apparaissent rarement ou en formes naines. Le sondage du fond de la lagune montra un sable à *Halimeda* de 20 à 23 m. d'épaisseur, que supporte une roche corallienne ordinaire.

§ 3. — *Matière insoluble.*

Le plus fort résidu insoluble obtenu dans les analyses de roches du sondage de FUNAFUTI[2] fut de 0,083 gr. sur 52,07 gr. de substance, soit de 0,15 °/₀. Le professeur JUDD conclut, dans son rapport, que la matière insoluble est excessivement faible dans les roches des récifs coralliens qui ne sont pas associés à des roches volcaniques. Il est donc légitime de con-

1. Anonyme 2, p. 176.
2. Anonyme 2, p. 368.

clure que le plus profond boudin, qui ne contenait que 0,004 °/₀ de matière insoluble, était loin de la proximité d'une roche volcanique ou autre contenant des silicates. Les sédiments calcaires de mer profonde, la vase à globigérines par exemple, sont caractérisés par leur matière insoluble. *Le géologue donc, qui rencontrera des calcaires purs, saura qu'ils proviennent de récifs coralliens.*

§ 4. — *Carbonates de chaux et de magnésie.*

Dans les 15 premiers mètres du sondage[1], la teneur en carbonate de magnésie varie de 5,85 à 11,99 °/₀ puis baisse et varie de 1,06 à 4,9 °/₀ jusqu'à la profondeur de 194 mètres. De cette profondeur grande augmentation avec maximum de 40 °/₀ et minimum de 26,63 °/₀. Or dans la dolomie la proportion de carbonate de magnésie est de 45,65 °/₀, il manque donc environ 6 °/₀ pour avoir de la vraie dolomie.

Quelle est la source du carbonate de magnésie ? Nous allons répondre à cette question avec M. J. W. Judd[2] en étudiant : 1° la quantité de carbonate de magnésie sécrétée par les animaux et les plantes, pour former leur squelette, puis 2° les changements dans la teneur en carbonate de magnésie après la mort des organismes.

1° *Quantité de carbonate de magnésie sécrétée par les animaux et les plantes pour former leur squelette.* Il y a longtemps que l'on sait que les coquilles et squelettes des animaux et des plantes contiennent, à côté

1. Anonyme 2, p. 373.
2. Anonyme, 2, p. 375.

du carbonate de chaux, des quantités variables d'autres sels, tels que : carbonates de magnésie et de fer, silice, fluorures, phosphates, etc. Parmi ces sels le plus abondant est généralement le carbonate de magnésie.

FORCHHAMMER, déjà en 1849, arriva à la conclusion que le carbonate de magnésie ne représente jamais plus que 1 pour 100 du poids total des animaux ou plantes sécrétant du carbonate de chaux.

Les données de FORCHHAMMER furent confirmées par les travaux de HÖGBOM[1], sur des coraux des Bermudes, comme le montrent les chiffres ci-dessous :

	CO^3Ca	CO^3Mg
Porites sp.	95,94	0,62
Millepora alicornis. .	95,86	0,41
Millepora sp. . . .	94,38	0,97
Oculina sp.	96,20	0,36

Trois analyses de différentes parties de la coquille d'une *Tridacna gigas* L. donnèrent au Dr SKEATS 0,36, 0,44 et 0,47 pour cent de carbonate de magnésie. Une analyse d'*Halimeda opuntia* fraîche provenant de Funafuti donna 0,60 pour cent de carbonate de magnésie contre 86,50 de carbonate de chaux (0,7 pour cent du total de matière minérale).

2° *Changements dans la teneur du carbonate de magnésie après la mort des organismes*. Comme nous venons de le voir, il est donc légitime d'accepter les conclusions de FORCHHAMMER en ce qui concerne la quantité de carbonate de magnésie dans les organismes calcaires vivants.

1. HÖGBOM.

Il est également démontré, d'autre part, que les coquilles mortes contiennent une beaucoup plus grande quantité de carbonate de magnésie que les coquilles vivantes, comme le montrent les résultats des analyses suivantes :

Des *Halimeda* provenant de la partie extérieure d'un récif, entre 100 et 110 mètres, donnèrent au Dr Skeats une proportion de carbonate de magnésie de 4,00 pour cent contre 93,59 de carbonate de chaux (soit 4,10 pour cent du total de matière minérale).

Le sable du fond de la lagune de Funafuti, contenant 90 °/o et plus de *Halimeda*, donna à l'analyse de 2 à 6 pour cent de carbonate de magnésie.

Dans les *Lithothamnium* morts nous trouvons une quantité bien plus grande de carbonate de magnésie que dans les *Halimeda*.

M. Högbom[1] montre que dans un lithothamnium de la mer Polaire, le carbonate de magnésie pouvait s'élever jusqu'à 13,19 pour cent. Un autre échantillon de la mer de Java, contenait 3,76 pour cent de carbonate de magnésie.

Il est très vraisemblable que, sous l'action de dissolvants, il y ait élimination de carbonate de chaux et que le carbonate de magnésie, moins soluble, reste, augmentant ainsi continuellement dans les restes d'organismes calcaires. Murray et Irvine trouvèrent en effet que le carbonate de magnésie était en beaucoup plus grande quantité dans la partie apicale d'une *Tridacna gigas* L. que dans les parties les plus récentes de la coquille. L'expérience suivante de M. Högbom

1. Högbom, p. 272.

est, à ce point de vue, très intéressante : un lithothamnium qui contenait 11 °/₀ de carbonate de magnésie, après dissolution dans l'acide acétique, se trouva contenir 20 pour cent de ce sel. Une même expérience fut faite sur une vase de lagune avec les mêmes résultats.

M. E. J. GARWOOD arriva aux mêmes conclusions que M. HÖGBOM en étudiant les concrétions du calcaire magnésien de DURHAM [1].

Dans la partie supérieure du sondage de Funafuti (15 premiers mètres) la richesse en carbonate de magnésie est certainement due à une élimination de carbonate de chaux par dissolution, car l'examen microscopique n'a révélé aucune trace de dolomie cristallisée. La partie entre 15 et 94 mètres, pauvre en magnésie, peut, dit M. le professeur JUDD, n'être pas ce qu'elle est en réalité, car la roche étant très friable, les parties les plus fines restent dans le trou de sonde, tandis que seuls les morceaux durs remontaient. Les parties fines seraient donc, en grande partie, formées par le carbonate de magnésie et auraient ainsi échappé à l'observation. Dans le dernier tiers seulement nous rencontrons de la *dolomie cristallisée*. Nous ne pouvons, dans l'état actuel de nos connaissances, que poser la question de la formation de ce double sel.

§ 5. — *Proportions de phosphate dans la roche corallienne.*

Le sondage de Funafuti donna l'occasion de rechercher la quantité de phosphate dans les roches

1. GARWOOD.

coralliennes. Sharples[1] était arrivé à la conclusion que les coraux contiennent de 0,3 à 0,8 pour cent de phosphate de chaux, tandis qu'une roche composée de fragments de coraux, draguée par le comte de Pourtalès entre Cuba et la Floride, contenait jusqu'à 1,20 pour cent de phosphate de chaux. Ces chiffres, comme nous le verrons dans la suite, sont trop forts; on peut néanmoins expliquer cette forte proportion en supposant que ces échantillons ont séjourné pendant un certain temps sur le fond de la mer où ils ont pu être phosphatisés.

Les analyses de roche corallienne de Funafuti, prise à différentes profondeurs, montrent que la teneur en phosphate de chaux ne dépasse pas 0,20 pour cent. On peut donc en déduire que les coraux et les roches coralliennes ne contiennent que des traces de ce sel.

Des fragments de roche corallienne provenant de la surface de plusieurs récifs contiennent des quantités de phosphate de chaux qui se montent jusqu'à 32,5 pour cent. Nous avons là un fait semblable à celui de l'île Christmas où toute la roche corallienne a été transformée en phosphate. Le phosphate provient des excréments d'oiseaux qui ont été en partie dissous par les eaux météoriques avec formation de phosphate d'ammonium qui, comme nous l'avons vu à propos des concrétions phosphatées, imprègne la roche sous-jacente et la pseudomorphose en phosphate de chaux.

Le fait que les roches du sondage de Funafuti ne contiennent que des traces de ce sel prouve qu'au-

1. Anonyme, **2**, p. 371.

cune partie de la roche traversée par le sondage n'a été élevée et exposée à la surface du récif.

§ 6. — *Caractères minéralogiques des roches traversées par le sondage entre la surface et 194 mètres. Calcite. Aragonite. Dolomie.*

Ce n'est que dans la toute première partie du sondage que la roche corallienne est intacte, c'est-à-dire formée uniquement par des organismes en calcite ou en aragonite. Plus on descend, plus la roche perd ses caractères originaux ; l'on assiste alors à différentes transformations minéralogiques dont les plus importantes sont : 1° le dépôt de calcite et d'aragonite secondaire ; 2° la cristallisation de la boue calcaire et 3° la disparition de l'aragonite.

Etudions un peu, avec le Dr C. Gilbert Cullis[1], ces différentes modifications.

1° Dépôt de calcite et d'aragonite secondaire.

Dans la première partie du sondage les interstices entre les différents organismes sont vides tandis que lorsqu'on étudie les boudins des parties plus profondes, on remarque qu'ils sont remplis par un dépôt de calcite et d'aragonite secondaires. Le premier de ces minéraux se rencontre en beaucoup plus grande quantité que le second.

On s'attend à ce que la calcite se dépose sur des organismes en calcite et l'aragonite sur des organismes en aragonite, mais ce n'est pas toujours le cas pour

1. Anonyme, 2, p. 394.

le premier de ces minéraux. En effet on trouve fréquemment la calcite remplissant des cavités bordées par de l'aragonite, tandis que l'aragonite ne se dépose pas sur des organismes en calcite mais seulement sur ceux dont l'aragonite est bien cristallisée. M. Gilbert Cullis remarqua en outre que ce dernier minéral ne se dépose jamais sur des parties recouvertes d'une couche de boue si fine soit-elle. Ce fait explique la limitation du dépôt de l'aragonite à l'intérieur des cavités des organismes. D'une manière générale les dépôts de calcite et d'aragonite secondaires révèlent une structure assez semblable à celle des éléments dont ces minéraux épousent les contours.

Grâce à ces minéraux secondaires la roche est rendue compacte, les différents organismes étant unis les uns aux autres par un ciment cristallin qui pénètre souvent jusque dans les cavités internes des organismes.

2° *Cristallisation de la boue calcaire.*

Si l'on examine la boue calcaire, qui remplit souvent des cavités de la roche corallienne, on remarque qu'elle est plus transparente dans les parties profondes du sondage que tout près de la surface où elle est presque opaque. Cette transparence est due à un commencement de cristallisation de la boue, cristallisation qui est souvent si complète qu'il est presque impossible de dire si l'on se trouve en présence de boue calcaire cristallisée ou d'un dépôt de calcite ou aragonite secondaire. Généralement la boue cristallisée contient certaines particules non cristallisées ou des traces d'animaux perforeurs qui permettent de la

distinguer des dépôts de calcite ou d'aragonite secondaire. M. Gilbert Cullis distingue deux sortes de boues calcaires : une boue *primaire* et une *secondaire*. La boue *primaire* serait en quelque sorte contemporaine de la roche tandis que la boue *secondaire* serait entrée après un dépôt de calcite ou d'aragonite secondaire qui tapisse différentes cavités.

3° *La disparition de l'aragonite.*

De la surface à la profondeur de 30 mètres les boudins contiennent beaucoup d'aragonite en parfait état de conservation, mais à partir de cette profondeur nous assistons à la disparition de ce minéral. Cette disparition est due à deux causes : la transformation de l'aragonite en calcite et la dissolution par l'eau de mer.

De la profondeur de 67 à 194 mètres il est rare de trouver un boudin compacte, le matériel se composant d'un sable semblable à un sable corallien. Il consiste presque uniquement en débris d'organismes, en calcite. Les rares restes d'organismes en aragonite que l'on y rencontre montrent une transformation en calcite ou des marques de dissolution.

C'est surtout la dissolution des organismes en aragonite qui permet d'expliquer l'incohérence de la roche corallienne dans la partie centrale du forage de Funafuti.

CHAPITRE VIII

ACTION DES ORGANISMES PERFOREURS ET DE CEUX QUI SE NOURRISSENT DE SABLE.

Les restes de coraux et autres organismes, qui constituent un récif, peuvent être affectés par trois phénomènes différents qui sont : 1° la formation d'un calcaire corallien ; 2° la dissolution par l'eau de mer et 3° la transformation des restes d'organismes en boue et sable. Nous nous sommes déjà occupés des deux premiers phénomènes, étudions maintenant le troisième.

Les principaux agents destructeurs des récifs coralliens [1] sont les organismes marins (éponges, mollusques) et à un faible degré les plantes marines. L'action destructrice de ces organismes est double. Premièrement les derniers perforent les coraux et de cette façon les affaiblissent à tel point, qu'ils s'affaissent par leur propre poids. Les débris ainsi formés attirent alors d'autres animaux qui en font leur nourriture et sont les principaux facteurs dans la formation de la boue qui, grâce aux marées et aux vagues, se dépose en dehors du récif et forme les *boues coralliennes* du « Challenger ». Comme nous l'avons vu (chap. VI, p. 59) cette accumulation de sables et boues coralliennes, en dehors du récif, est très rapide puisqu'il est difficile d'y trouver des restes d'organismes calcaires pélagiques, qui pourtant se rencontrent en

1. GARDINER, 2 vol. I, part. 3, p. 333 et suiv.

grande quantité dans les eaux de surface. Comme l'a justement fait remarquer Sir John MURRAY la principale cause de la formation de la lagune, est l'action dissolvante de l'eau de mer chargée d'anhydride carbonique, mais M. GARDINER estime que le transport de la boue par les marées et les courants doit également être prise en considération, car l'eau chargée de troubles est un obstacle sérieux à la croissance des coraux.

Les organismes perforeurs qui attaquent les coraux constructeurs sont des algues du genre *Achÿla* et des éponges du genre *Cliona*.[1] Dans les Maldives ces deux genres apparaissent ensemble, ce qui n'est pas le cas de certains récifs de l'océan Pacifique. Une autre éponge, vraisemblablement un myxospongidé, a une certaine importance comme destructeur des coraux dans la lagune. Elle se fixe sur les parties basales de certaines colonies et y fore des trous d'environ 1 centimètre carré et même plus, causant souvent de cette façon la chute de la colonie. M. GARDINER pense que l'action de cette éponge est due à quelque sécrétion acide. Les espèces coralligènes les plus affectées sont les madréporaires et les astréidés. Les effets de cette éponge semblent augmenter avec la profondeur jusqu'à une limite de 90 mètres, au-dessous de laquelle on ne la rencontre plus.

A côté de ces formes il faut encore citer un mytilidé, *Lithodomus*, qui fore des trous de 12 à 13 mm. de diamètre. Les sipunculoidés et surtout les *Polychaeta* sont des organismes qui, bien que petits, ont un immense pouvoir destructeur.

Les plus importants parmi les organismes se nour-

rissant de sable sont les Holoturies et surtout *Holothuria atra* qui vit à la surface du sable et *Holothuria maculata* qui vit dans le sable et atteint jusqu'à près d'un mètre de longueur. Le poids de sable, une fois séché, trouvé par M. GARDINER dans 4 spécimens moyens d'*Holothuria atra*, se montait à 297,3 grammes.

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS.

CHAPITRE PREMIER

FORMATION DES OOLITHES.

§ 1. *Caractères généraux.*

Les roches calcaires contiennent souvent de petits globules calcaires à structure fibro-radiée ou concentrique qui ont reçu le nom d'*oolithes*.

Gümbel [1] distingua des *extoolithes* ou oolithes formées d'écailles calcaires concentriques enveloppant un noyau et des *entoolithes* qui sont constituées par une cellule calcaire creuse, intérieurement tapissée de cristaux. On peut rencontrer ces deux manières d'être réunies, reconnaissables au fait que de telles oolithes se composent de zones externes concentriques, avec une cellule creuse ou remplie d'une matière cristalline.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail de la structure des différentes espèces d'oolithes et nous renverrons le lecteur que cette question pourrait intéresser, au volume de Zirkel [2]. Nous étudierons avec M. Linck [3], la genèse des oolithes qui ont dû se former dans les

1. Gümbel, 5, p. 303.
2. Zirkel, vol. I, p. 484.
3. Linck.

mers des périodes géologiques, comme le prouvent les restes d'organismes qui les accompagnent souvent.

De nos jours on ne rencontre des oolithes en voie de formation [1] que sur les plages de certains récifs coralliens où nous assistons à une solidification des sables calcaires. Cette structure oolithique est due aux alternatives de sécheresse et d'humidité qu'entraînent soit le jeu des marées, soit la succession des calmes et des tempêtes. Après chaque immersion de la plage les grains de sable restent entourés d'une couche d'eau, qui, par évaporation, donnera un dépôt calcaire concentrique qui augmentera à chaque immersion suivie d'émersion. Nous aurons ainsi finalement formation d'oolithes à structure concentrique.

Le problème de la formation de ces globules calcaires a donné lieu à un grand nombre d'hypothèses expliquant, plus ou moins bien des cas particuliers. Avec M. Linck nous pouvons les résumer comme suit en disant que les oolithes furent envisagées comme:

I. *Formations détritiques* provenant de petits fragments de coquilles ou de petits grains de sable qui auraient été roulés (L. de Buch [2], Bornemann [3]).

II. *Formations d'origine organique* dues à des animaux (Ehrenberg [4], Frantzen [5]) ou à des plantes (Rothpletz [6], Kalkowsky [7]).

III. *Sédiments d'origine physico-chimique formés* :

1. De Lapparent, vol. I, p. 389.
2. De Buch.
3. Bornemann.
4. Ehrenberg.
5. Frantzen.
6. Rothpletz.
7. Kalkowsky.

a) Par des particules minérales recouvertes d'une couche de calcaire (AGASSIZ[1]).

b) Par des œufs d'insectes recouverts d'un dépôt calcaire (Virlet d'AOUST[2]).

c) Par des bulles de gaz recouvertes et remplies d'un dépôt calcaire (GÜMBEL[3], KNOP[4]).

d) Par des sources arrivant dans la mer comme les pisolithes (Erbsensteine) de Karlsbad (QUENSTEDT[5]).

IV. *Produits métamorphiques*, attendu que les grains se seraient développés à l'intérieur d'une masse encore plastique (LORETZ[6]) ou à l'intérieur d'une masse déjà solide (ROSSBACH[7]) ou enfin dans des cavités (Knop).

§ 2. — *Mode de formation.*

M. Linck ayant remarqué que les oolithes fossiles sont constituées par de la *calcite*, tandis que les oolithes récentes, rapportées par Suess du Sinaï ou par Agassiz des côtes de Floride, sont formées par de l'*aragonite* en déduisit que seule une étude des conditions sous lesquelles l'aragonite se précipite dans l'eau de mer pouvait donner une explication rationnelle du mode de formation de ces globules calcaires[8].

1. AGASSIZ.
2. Virlet d'AOUST.
3. GÜMBEL, 5.
4. KNOP.
5. QUENSTEDT.
6. LORETZ.
7. ROSSBACH.
8. *L'aragonite* : 1° se colore en lilas après une courte cuisson dans une solution diluée de nitrate de cobalt, 2° donne un préci-

Il résulte des recherches de ce savant :

1° Qu'il se précipite du carbonate de chaux lorsque l'eau de mer est saturée de bicarbonate de chaux (la limite maxima de solubilité du bicarbonate de chaux dans l'eau de mer étant de 0,0191 °/₀ $CaCO^3$). Le précipité dans les climats tempérés prend la forme de *calcite*, tandis que dans les climats tropicaux cette précipitation se fait sous forme d'*aragonite*. Il ne se forme pas de sphérolites.

2° Que le carbonate de chaux résultant d'une réaction entre le sulfate de chaux, en solution dans l'eau de mer, et le carbonate de soude ou d'ammonium prend la forme d'*aragonite* dans les climats tempérés comme dans les climats tropicaux et se présente en sphérolites.

3° Que dans les dissolutions de bicarbonate de chaux sans chlorure de sodium la précipitation du carbonate de chaux se fait dans les régions tropicales sous forme d'*aragonite* et dans les régions tempérées sous forme de *calcite*.

4° Que dans les dissolutions de sulfate de chaux libres de chlorure de sodium le carbonate est précipité soit par le CO^3Na^2 soit par le $CO^3 (NH^4)^2$ à 40° C. et à 18° C. sous forme de *calcite*.

5° Il résulte des faits ci-dessus que la solubilité de l'aragonite est plus grande dans les eaux pauvres ou libres de chlorure de sodium. La calcite se dissout

pité vert noirâtre avec une solution de sulfate de fer ou de sel de Mohr.

La *calcite* reste blanche dans le premier cas après une courte cuisson et devient bleue à la longue ; dans le second cas il n'y a qu'une précipitation d'hydrate de fer.

plus facilement, à température égale, dans l'eau de mer que dans l'eau douce.

6° Le carbonate de chaux et le sulfate sont plus facilement solubles dans l'eau de mer que dans l'eau douce.

Nous venons de voir les différentes conditions sous lesquelles la formation du carbonate de chaux a lieu dans la mer et dans l'eau douce. Voyons maintenant laquelle de ces conditions satisfait à la formation des oolithes :

La possibilité d'une précipitation directe du carbonate de chaux, en solution dans l'eau de mer, doit, d'après Linck, être écartée, étant donné que ce n'est que très rarement et localement que l'eau de mer se trouve sursaturée de carbonate de chaux. Le seul facteur qui puisse donc entrer en jeu dans la formation du carbonate de chaux est une double décomposition du sulfate de chaux par le carbonate de soude ou d'ammonium. La formation d'oolithes s'expliquerait donc facilement dans les mers coralliennes où nous assistons à une forte décomposition d'albumine qui, comme nous le savons, produit du carbonate d'ammonium. Ce sel décomposera le sulfate de chaux de l'eau de mer; le carbonate de chaux qui résulte de cette réaction aura la forme d'*aragonite*.

Ce carbonate de chaux ainsi formé, dans les régions littorales, va se déposer en sphérolites autour de corps hétérogènes tels que fragments microscopiques de coraux et de foraminifères que l'eau tient toujours en suspension. Nous aurons ainsi une formation d'oolithes à structure concentrique et centro-radiée. Au large ou dans des lacs tranquilles les sphérolites se

formeraient sans nucleus ou bien se déposeraient autour de masses organiques comme des fragments d'algues ou des œufs d'insectes. Ces sphérolites, étant en quelque sorte poreuses, surnagent légèrement et sont toujours agitées par le mouvement des vagues. De faibles quantités d'argile se déposeront à leur surface quand l'accroissement se ralentit, puis une nouvelle écaille se forme et ainsi de suite.

Cette interprétation de M. Linck nous paraît pouvoir être légèrement modifiée sur deux points :

Nous estimons que l'eau de mer peut être sursaturée de carbonate de chaux sur les côtes des récifs et îlots coralliens et que par conséquent dans ces régions une précipitation directe du carbonate de chaux est possible. Nous nous basons sur les faits découverts à Funafuti (p. 272), faits qui prouvent une dissolution des récifs par l'eau de mer et une précipitation directe de carbonate venant en quelque sorte remplacer sous une forme cristalline le carbonate de chaux d'origine organique enlevé par dissolution.

Dans une note récente M. Cayeux[1] attira l'attention des géologues sur la prétendue formation d'oolithes dans les calcaires lacustres du Mexique. Ce fut en effet Virlet d'Aoust qui en 1857 signala la formation d'oolithes dans les lacs de Mexico, oolithes dues à des œufs d'insectes qui se trouvaient subséquemment incrustés par des concrétions calcaires déposées journellement par les eaux du lac. Virlet d'Aoust déduisit de cette constatation que toutes les oolithes calcaires ou ferrugineuses avaient la même origine.

1. Cayeux 5.

Comme le fait remarquer M. CAYEUX, si des oolithes prennent naissance dans les lacs du Mexique, par le processus indiqué, elles restent dans les formations lacustres et saumâtres et ne peuvent pas être rapportées aux oolithes calcaires d'origine marine qui, comme nous le savons, se rencontrent en grande quantité dans les terrains secondaires.

M. CAYEUX montra qu'en réalité il ne se formait pas d'oolithes proprement dites dans les lacs des environs de Mexico. Les globules résultant d'une concentration moléculaire de carbonate de chaux autour des œufs ont les caractères morphologiques seulement des oolithes. « Ils possèdent, quand ils sont complets, un noyau central volumineux, dans lequel on rencontre tous les éléments de la boue lacustre, et une zone corticale irrégulière, mince et indifférenciée. En lumière blanche on n'y distingue jamais de structure concentrique ou radiée... » M. CAYEUX classe ces globules calcaires dans une nouvelle catégorie de *fausses oolithes* ou *pseudoolithes*, c'est-à-dire de corpuscules que rien ne distingue à l'œil nu des vraies oolithes et qui selon lui prendraient naissance *après la sédimentation*, soit par cristallisation partielle d'une boue calcaire, soit par concentration de carbonate de chaux autour des corps étrangers.

La roche contenant des oolithes une fois exondée est traversée pour ainsi dire continuellement par les eaux douces d'infiltration et il arrive finalement, tout comme pour les coquilles et les coraux en aragonite, que les oolithes sont transformées en *calcite*. Leur structure souvent reste intacte, d'autres fois elle est altérée de plus en plus et n'est reconnaissable que

grâce aux anneaux argileux ou aux différences de coloration; l'aragonite centro-radiée est uniformément ou zonairement remplacée par de la calcite en grains. Lorsqu'on se trouve en présence d'une sédimentation éolienne il arrive souvent que le matériel a été en partie dissous et emmené par les eaux d'infiltration ou en partie redéposé dans les espaces vacuolaires entre les grains. Lorsque ce genre de dissolution a lieu dans des roches déjà durcies il reste à la place des oolithes des vacuoles. Dans des roches meubles il arrive souvent que ces vacuoles, qui ont été déformées, sont remplies postérieurement par de la calcite, de façon qu'il est presque impossible de reconnaître la structure primordiale.

Peut-il se déposer du carbonate de chaux sous forme de calcite sur le fond des mers actuelles? A cette question M. Linck répond que cela se peut dans des endroits où une précipitation directe (due à une sursaturation) du carbonate de chaux peut se faire, c'est-à-dire dans des régions littorales tempérées près de l'embouchure des fleuves où le mélange d'eau douce et d'eau salée se fait lentement. Ce phénomène pourrait également se passer dans les régions polaires, mais les matériaux n'en ont malheureusement pas encore été étudiés. Ce savant montra en effet que le carbonate de chaux se précipite, d'une solution de bicarbonate, sous forme de calcite, à la température de 17 à 18° C et sous forme d'aragonite en chauffant plus haut jusqu'à environ 60° C.

Cette réponse est néanmoins loin de nous satisfaire, car à Funafuti, dans les 190 premiers mètres du sondage, on a trouvé des dépôts de calcite et d'aragonite

secondaires dans des vacuoles entre les différents organismes calcaires. La calcite secondaire moule des organismes en aragonite mais on ne trouve pas par contre d'organismes en calcite recouverts d'aragonite, cette dernière ne recouvre que des organismes en aragonite. Serions-nous peut-être dans ce cas dans une zone limite de température pour le dépôt de ces deux espèces minéralogiques ? Sans aucun doute ces précipitations se font au détriment de l'eau de mer et il est fort possible que la température à cette profondeur varie de quelques degrés suivant les saisons amenant à sa limite inférieure (17 à 18° C) une précipitation de calcite et à sa limite supérieure un dépôt d'aragonite secondaire. Seule la température de l'eau de mer prise à cette profondeur en diverses saisons permettrait de résoudre cette intéressante question d'une manière satisfaisante.

CHAPITRE II

DU RÔLE DES ORGANISMES SILICEUX DANS LES ROCHES SÉDIMENTAIRES.

§ 1. *Introduction.*

C'est à M. Cayeux[1] que nous devons d'avoir mis en lumière le rôle que jouent les organismes siliceux dans les roches sédimentaires.

Comme on le sait, les restes d'organismes calcaires, bien que de beaucoup supérieurs aux restes d'orga-

1. Cayeux, 2.

nismes siliceux, ont en quelque sorte un rôle passif. Ils subissent les changements imposés aux sédiments dont ils font partie, mais ne les dirigent pas, comme c'est le cas pour les organismes siliceux.

M. Cayeux a fort bien montré que les sédiments siliceux passent par toute une série de transformations pour arriver aux termes finaux de leur évolution, dont le point de départ réside dans un « phénomène vital ». En effet, grâce aux phénomènes chimiques, la silice des organismes tend à être lentement transformée en un produit ultime et plus stable : *le quartz*.

Nous avons vu précédemment que les principaux organismes siliceux dont les restes se rencontrent dans les sédiments actuels sont : les spongiaires, les radiolaires et les diatomées.

Dans les roches sédimentaires nous assistons à la dissolution de ces restes d'organismes siliceux qui, de ce fait, fournissent la substance qui épigénisera la roche qui les contient. D'autres fois nous les voyons servir de centre d'attraction pour la silice d'origine organique ou non qui circule dans le dépôt, Enfin dans certains cas nous assistons, grâce à l'activité chimique, à une dissolution complète des restes d'organismes siliceux avec formation de cherts à plages de silex.

Dans les roches sédimentaires, nous assistons en quelque sorte à un combat entre la silice et le carbonate de chaux. Les roches siliceuses se débarrassent facilement de leur carbonate de chaux, tandis que les calcaires ne peuvent pour ainsi dire pas se débarrasser de leur silice. Quelquefois, il est vrai, cette dernière

disparaît mais pour se concentrer non loin de là en nodules.

L'évolution des calcaires est beaucoup plus simple que celle des roches siliceuses. Le carbonate de chaux organique est transformé simplement en une forme plus cristallisée ; en d'autres cas nous assistons à un changement de forme, tel que celui d'aragonite en calcite.

D'après M. CAYEUX la quantité de *silicium* qui entre dans la composition des roches cristallines est de 28 %, tandis que le calcium s'y rencontre en quantités bien plus faibles. D'une manière générale toute la chaux qui dérive de la décomposition des roches cristallines est transformée, comme nous l'avons vu (chap. V, p. 218), par les organismes avant d'être finalement déposée dans les sédiments. Il est loin d'en être de même pour la silice. Cela tient en tout premier lieu à la faible solubilité de la silice dans l'eau de mer (1 partie en 200.000-500.000), ce qui explique l'existence de minéraux détritiques, parmi lesquels le quartz est le plus important.

« Alors que l'activité des organismes à squelette calcaire est proportionnelle à la quantité de chaux disséminée dans la nature, celle des organismes siliceux est très inférieure à la quantité de silice. Cette disproportion, quelles qu'en soient les causes, est une des principales sources de la grande variété des roches sédimentaires à base de silice. Il semble que c'est pour compenser leur infériorité numérique, que les organismes siliceux ont été doués de la remarquable propriété de tenir sous leur influence les sédiments dans lesquels ils sont incorporés en grand nombre, et de

présider pour ainsi dire à leur évolution pétrographique[1] ».

§ 2. *Gaize et grès.*

Avant l'étude de M. CAYEUX, on faisait généralement entrer dans la catégorie des grès toutes les roches sédimentaires siliceuses. Or parmi ces roches il en est qui contiennent égale quantité de silice et qui n'en sont pas moins totalement différentes au point de vue de leur genèse. Dans les unes la silice est sous forme de quartz clastique, dans d'autres la silice est sous forme d'opale et plus rarement de calcédoine. Les premières de ces formations appartiennent aux grès, car elles sont avant tout détritiques, les secondes dans lesquelles la silice est d'origine *organique*, ne peuvent pas rentrer dans la même catégorie et M. CAYEUX a proposé de leur réserver le nom de *gaize*.

Si l'on ne tient compte que de la composition actuelle de la gaize typique, on peut la définir : « *une roche siliceuse, très riche en débris d'organismes siliceux, renfermant du quartz (quelques unités à 50 °/₀) et de la glauconie, le tout agglutiné par un ciment d'opale additionné d'argile, quelquefois de calcédoine, et comportant une très faible proportion de carbonate de chaux*[2] ».

On aura des *gaizes à radiolaires*, *gaizes à spongiaires* et des *gaizes à diatomées*, suivant que l'un ou l'autre de ces organismes prédomine. On pourra éga-

1. CAYEUX, 2, p. 162.
2. CAYEUX, 2, p. 71.

lement avoir des variations dans la composition minéralogique qui pourront être exprimées en distinguant des *gaizes quartzeuses*, *gaizes argileuses* et des *gaizes calcarifères*.

§ 3. — *Origine de la silice du ciment des gaizes*

D'où vient la silice (76-92 % dans une gaize typique) minérale du ciment? C'est ce que nous allons étudier avec M. Cayeux.

a. *Dissolution des organismes siliceux sur le fond de la mer.*

Nous avons vu dans les chapitres traitant de la silice et de la vase à globigérines qu'il se produisait actuellement, sur le fond de la mer, une dissolution des restes d'organismes siliceux comme les spicules de spongiaires, les diatomées et les radiolaires. Cette dissolution est due à l'action de l'eau de mer contenant de l'anhydride carbonique en dissolution. Que devient cette silice mise en liberté? M. Cayeux se basant sur le fait que Gwyn Jeffreys aurait trouvé dans ses explorations de mer profonde des foraminifères, dont l'intérieur était plein de silice, pense que la silice peut se précipiter avant que les foraminifères ne soient enfouis dans le sédiment. Nous nous demandons si Gwyn Jeffreys ne prit pas pour de la silice ce que MURRAY et RENARD appelèrent plus tard « imperfect casts » et ce que nous avons appelé dernièrement dans notre étude sur la glauconie des « moules imparfaits » (Chap. II, p. 143). MURRAY et RENARD, comme nous l'avons indiqué (p. 103), pensaient que

la silice provenant de la dissolution des radiolaires servait à la formation d'un silicate de calcium. Ces auteurs[1] signalent des produits de remplissage de coquilles de foraminifères ayant l'apparence de quartz mais qui n'étaient rien autre que du carbonate de chaux.

Il nous paraît, à l'heure qu'il est, difficile sinon impossible d'émettre une opinion sur la question du rôle de cette silice et nous nous contentons pour le moment de généraliser la loi importante de M. CAYEUX[2], comme suit : *Les organismes siliceux fournissent de la silice sur le fond même de la mer avant qu'ils ne soient enfouis dans les sédiments.*

b. *Dissolution des spicules à l'intérieur du sédiment.*

Les géologues anglais, en 1885 déjà, reconnurent que la présence simultanée, dans un même terrain, de silice hydratée et de spicules de spongiaires, dans un état de dissolution souvent complet, permettait de voir dans la silice hydratée qui imprègne le sédiment le résultat de la dissolution des spicules.

Les recherches de M. CAYEUX sur les gaizes confirmèrent ces vues et lui permirent d'énoncer la thèse suivante : *la gaize elle-même peut être une source de silice par ses organismes.*

Dans ce cas, la silice ne fait que se déplacer dans le sédiment. En effet supposons que la gaize soit parcourue par des eaux contenant des principes dissolvants comme : acides organiques, anhydride carbonique

1. MURRAY, 13, p. 169-170.
2. CAYEUX, 2, p. 73.

ou même certains sels, les spicules seront dissous partiellement ou totalement. L'eau ainsi saturée d'acide silicique pourra par capillarité se transporter en d'autres points et se déposer autour d'autres spicules qui n'ont pas été atteints par dissolution. Renard et Clément[1] ont en effet montré que d'une solution saturée la précipitation se fait généralement sur un corps solide et de préférence de même nature.

En résumé nous assistons à une migration de la silice sans sortir du dépôt.

Les vides que l'on rencontre dans certaines gaizes et qui reproduisent rigoureusement la forme des spicules prouvent que la dissolution s'est effectuée à un moment où la consolidation du dépôt était déjà très avancée.

c. *Intervention des dépôts supérieurs à la gaize.*

Dans certains cas, comme le montre M. Cayeux, il y a eu émersion à la fin du dépôt de la gaize. Une quantité d'eaux météoriques ont amené, au niveau supérieur de ce terrain, une dissolution des organismes siliceux, dissolution d'autant plus rapide que la sédimentation était plus récente. Cette silice, grâce aux eaux d'infiltration, est venue enrichir les parties sous-jacentes où les restes d'organismes ont servi naturellement de centres d'attraction.

Dans d'autres cas nous assistons à un enrichissement de la gaize en silice grâce aux phénomènes de dissolution dont les terrains susjacents ont été le théâtre.

1. Renard et Clément, p. 804.

d. *Destruction de la matière argileuse et genèse d'acide silicique aux dépens de l'argile.*

Nous avons vu (p. 240), que MURRAY et IRVINE montrèrent que les diatomées et les radiolaires tirent la silice dont elles fabriquent leurs squelettes de l'argile en suspension dans l'eau de mer.

Les spongiaires qui sont fixés dans la vase auraient aussi le pouvoir de décomposer l'argile du fond. Quelle est la réaction qui préside à cette décomposition de l'argile? MURRAY et IRVINE suggèrent l'action des sulfures alcalino-terreux sur l'argile avec mise en liberté d'acide silicique. Ces sulfures proviendraient de la réduction des sulfates en solution, dans l'eau de mer, par de la matière organique. Nous nous demandons si on ne pourrait pas également envisager cette décomposition comme provenant d'une action d'acides organiques sur l'argile. Ces acides proviendraient des organismes eux-mêmes et nous aurions peut-être là l'explication d'un de ces phénomènes dits « vitaux » qui président au passage de la matière organisée à la matière minérale.

M. CAYEUX, en étudiant la structure de l'argile de certains gaizes, arriva à la conclusion qu'il y avait en certains points destruction partielle ou complète de l'argile. Ce savant résume ses vues comme suit: « Tout se passe comme si la disparition de la matière argileuse avait pour corollaire inévitable un enrichissement en silice, et l'on peut dire que le maximum de silicification subie par la roche correspond à la destruction maxima de l'argile. » Cette décomposition de l'argile serait donc une source de silice et bien qu'il

soit impossible d'en faire la preuve directe, nous devons reconnaître que cette hypothèse de M. CAYEUX est très vraisemblable, étant donné qu'un tel phénomène se passe actuellement sur le fond des mers actuelles.

L'étude détaillée des sédiments marins actuels ne peut que jeter toujours plus de lumière sur la formation des terrains sédimentaires, et lorsqu'on envisage les résultats importants que l'océanographie, science bien que naissante, a mis à la disposition de la géologie, il y a lieu de se réjouir du futur.

L'étude de l'eau d'imbibition des différentes vases qui tapissent le fond des océans devra désormais être inscrite au programme des nouvelles expéditions. Si l'on entend souvent des savants se plaindre de nos jours qu'il n'y a plus rien de neuf en science, c'est qu'on oublie trop que le fond de l'océan garde encore bien des secrets. Grâce aux efforts de savants tels que S. A. S. le Prince de MONACO, Sir John MURRAY, M. Alexander AGASSIZ, nous pouvons espérer que petit à petit l'océan livrera ses mystères. D'aucuns croient que l'expédition du « Challenger » a extirpé du fond des mers tout ce qu'il était possible d'en tirer, mais c'est bien à tort. L'expédition du « Challenger » a posé les bases solides de l'océanographie physique, biologique et géologique et l'étude de détail reste à faire. La science a progressé dans ses méthodes d'investigations et ce qui paraissait impossible il y a vingt ans ne l'est plus de nos jours. Sir John MURRAY s'en rend si bien compte qu'il se propose, l'étude des lacs d'Ecosse terminée, de reprendre ses travaux sur les vases de l'océan et cela d'une manière détaillée.

§ 4. — *Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels.*

Si l'on cherche, comme l'a fait M Cayeux, l'équivalent dans les sédiments actuels des roches siliceuses du groupe des *gaizes*, on est amené à les comparer aux *boues et sables verts* actuels.

Le tableau suivant donne une idée de la composition des éléments de ce dépôt actuel qui peuvent servir à la comparaison avec les gaizes.

		Min.	Max.	Moyenne
CO^3Ca	Foraminifères pélagiques — benthiques Autres organismes	traces	56,85	25,52
Résidu	Organismes siliceux	1	50	13,67
	Minéraux	1	80	27,11

La quantité de silice des gaizes ne peut pas être mise en comparaison, car il ne faut pas oublier les métamorphoses nombreuses subies par les boues dont proviennent les gaizes. Ce qui frappe le plus en comparant ces deux formations, c'est la teneur en organismes siliceux qui est un facteur de première importance. Dans certains cas la teneur des gaizes dépasse le maximum de 50 % des boues et sables verts. Les gaizes calcarifères doivent provenir d'une profondeur plus grande, comme le prouvent premièrement le carbonate de chaux, puis la diminution du diamètre des minéraux détritiques. Ce fait est en parfait accord avec ce que nous savons des dépôts marins en général.

Les boues et sables verts se forment de nos jours

entre les limites de 200 à 1800 mètres. Le fait que les gaizes sont semblables à ces dépôts actuels implique-t-il une déposition sous des conditions bathymétriques semblables ?

Nous allons, toujours avec M. Cayeux, répondre à cette question.

Murray et Renard, après l'expédition du « Challenger », ont non seulement établi, comme nous l'avons vu précédemment, un tableau des sédiments, classés d'après leur composition et leur distribution en profondeur, mais ont encore réussi à éclaircir plusieurs questions de sédimentation. Comme l'a très justement fait remarquer M. Cayeux, l'échelle bathymétrique des sédiments actuels ne peut pas servir à déterminer les conditions bathymétriques sous lesquelles se sont formés les sédiments anciens. C'est ce qui malheureusement a été fait longtemps ; il suffit, en effet, pour cela, de prendre l'exemple de la craie. Certains géologues reconnurent dans ce dépôt une formation pélagique qu'ils assimilèrent immédiatement à la vase à globigérines des mers actuelles que l'on rencontre entre les limites de 450 à 4500 mètres. On pourrait être porté à faire de semblables rapprochements pour les sédiments anciens qui correspondent aux boues et sables verts actuels. Les gaizes, dont nous venons de parler, qui peuvent être rapportées à cette dernière catégorie de sédiments, n'impliquent pas une formation sous des conditions bathymétriques semblables. Les boues et sables verts se forment entre les limites de 200 à 1800 mètres, tandis que les gaizes, d'après M. Cayeux, se seraient formées plutôt à la limite inférieure. Murray et Renard ont divisé les sédiments

marins en terrigènes et pélagiques. Leur distribution est fonction de certaines conditions physiques de la terre que tout démontre être variables. Ces conditions qui sont : l'importance des régions continentales, la température, les courants atmosphériques et les courants marins, la composition chimique des terres émergées, n'ont jamais été en aucune période géologique ce qu'elles sont de nos jours.

De cette constatation on déduit à fortiori que l'échelle bathymétrique des sédiments actuels ne peut pas servir aux sédiments anciens.

Supposons, comme l'a fait M. Cayeux, une période ancienne de l'histoire de notre globe et étudions séparément chacune des conditions ci-dessus énoncées.

La surface des continents émergés est plus petite que de nos jours ; il en résulte forcément que la surface occupée par les eaux est plus grande. La quantité de matériaux détritiques mis à la disposition de l'action des eaux marines est plus faible ; il en résulte que l'aire des dépôts terrigènes, à l'époque considérée, sera moins grande qu'elle ne l'est aujourd'hui. Autre conséquence : les dépôts pélagiques auront une extension plus grande et nous trouverons des sédiments organogènes beaucoup plus près des continents que de nos jours.

La température, à cette époque ancienne, est de beaucoup plus égale. Nous avons traité, dans un chapitre spécial (p. 10), de l'importance de ce facteur au point de vue de la distribution des organismes marins et des dépôts marins, nous n'y reviendrons donc pas, mais nous rappellerons que de la température dépend la répartition des vents et des courants marins. Le

régime des courants atmosphériques étant de beaucoup moins important que de nos jours, l'action mécanique marine qui en résulte est beaucoup plus faible, il en résulte que la matière argileuse tenue en suspension dans l'eau près des continents sera beaucoup plus faible. Ainsi on voit que les deux facteurs : surface continentale et température s'ajoutent ; l'aire des dépôts terrigènes est donc restreinte non seulement par le fait d'une surface continentale plus faible, mais encore en même temps par une action mécanique marine de beaucoup inférieure à ce qu'elle est de nos jours.

La variation des précipitations atmosphériques si grande dans les dernières phases de l'histoire de la terre est à considérer. En effet les précipitations atmosphériques qui amenèrent le régime glaciaire du quaternaire eurent certainement une grande influence au point de vue de l'étendue des sédiments terrigènes. Les sédiments fluviatiles amenés à la mer ont dû certainement dépasser en quantité ceux des époques précédentes et suivantes. Ce fait même donne une certaine vraisemblance à l'hypothèse de M. Philippi, concernant la formation de ce dépôt marin, provenant du centre de l'océan Atlantique et qui, comme nous l'avons vu (p. 74), contenait dans sa partie inférieure une grande quantité de matériaux détritiques. La variation des précipitations atmosphériques peut influencer grandement la distance à la terre et la profondeur à laquelle se fait la jonction des sédiments terrigènes, avec les sédiments pélagiques.

La composition chimique des terres émergées jouera également un grand rôle dans la distribution

des sédiments terrigènes et organiques. Supposons, avec M. Cayeux, que la terre émergée soit de la craie blanche par exemple, l'extension des dépôts terrigènes dans ce cas sera faible, car la terre émergée ne peut lui fournir que peu de matériaux. Il y aura, dans de tels cas, régression de l'aire des dépôts terrigènes qui sera compensée par une extension plus grande des dépôts organiques.

Il ne faudrait pas déduire des quelques lignes qui précèdent que, dans le passé, en tous temps, les formations organogènes, grâce à la combinaison des différents facteurs dont nous avons parlé, ont dû avoir une extension relative plus grande aujourd'hui. Il est bien évident qu'à certaines époques, les soulèvements des chaînes de montagnes ont dû produire des ruptures d'équilibre des mers et des terres et de cette façon, interrompant les conditions de sédimentation, ont dû favoriser l'extension des dépôts terrigènes.

En résumé, on peut dire avec M. Cayeux que : « *chaque époque comporte une échelle de distribution bathymétrique des sédiments qui lui est propre*[1] ».

CHAPITRE III

SOLIDIFICATION DES SÉDIMENTS. EXPÉRIENCES DE SPRING

Après avoir étudié les sédiments actuels et après avoir dit quelques mots de certaines formations sédimentaires, il nous paraît justifié de jeter un coup d'œil rapide sur la question si intéressante de la formation

1. Cayeux, 2, p. 539.

des roches sédimentaires ou mieux de leur solidification.

Dans la première partie de ce volume, traitant des sédiments marins, nous avons décrit des boues, des vases et des sables, en un mot des formations meubles. Dans la dernière partie nous venons de voir que certaines gaizes, roches solides, pouvaient être homologuées aux boues et sables verts actuels. De quelle façon se sont solidifiées ces boues et ces sables ? Telle est la question qui se pose naturellement à l'esprit du géologue.

M. Spring[1], dont plusieurs travaux de physique ont rendu de grands services à la Géographie Physique, s'est occupé de cette importante question et, grâce à ses savantes expériences, il nous est permis de nous faire une idée du processus de solidification des sédiments.

La plus grande partie des sédiments marins manquent de matières pouvant jouer le rôle de substances unissantes ou de ciment. Nous nous trouvons donc en présence d'un cas d'agglutination de corps solides. Or la matière ne se soude généralement qu'à l'état liquide. Des corps solides, dépourvus de la faculté d'adhérer les uns aux autres dans des conditions ordinaires, pourraient-ils s'agglutiner sous pression ? Telle fut la question que se posa M. Spring.

Ce savant après s'être servi d'un appareil pouvant donner jusqu'à 10.000 atmosphères, arriva à la conclusion suivante : *Tous les corps doués de la faculté de se déformer sous pression, sans se briser, se sont ag-*

1. Spring.

glutinés aussi solidement que s'ils avaient été liquéfiés, tandis que ceux chez lesquels la malléabilité ne se révélait pas encore sous cette énorme pression, ont été extraits du compresseur à l'état pulvérulent, comme ils y étaient entrés.

Le sable quartzeux ou argileux, le calcaire sous diverses formes, les oxydes de fer et d'alumine, en un mot toutes les matières qui entrent dans la composition des roches sédimentaires ne se sont pas agglutinées ou très imparfaitement. 10.000 atmosphères correspondent à la pression d'une colonne de sable de 50.000 mètres de hauteur, la solidification des sédiments marins ne peut donc pas se trouver exclusivement dans la simple pression.

Si l'on étudie attentivement les grès et les poudingues on voit souvent que leurs différents éléments sont agglutinés les uns aux autres par un ciment siliceux, souvent si faible qu'il échappe à l'observation directe et qu'il faut avoir alors recours aux solutions de soude et de potasse. Les grès tertiaires sont facilement dissociés par ce dernier moyen, tandis que les grès primaires, dans lesquels le ciment a passé à l'état insoluble de quartz, ne le sont pas ou très difficilement. Comme le fait remarquer M. Spring, les grès tertiaires n'ont pas eu à subir des pressions de 10.000 atmosphères et pourtant ils sont solides. Quelle est la cause de cette solidification ?

Si l'on prend un sable imprégné de silice colloïdale et qu'on le laisse se dessécher on n'obtient rien, grâce à la contraction énorme qui accompagne la dessiccation. Mais si ce même sable est soumis à une pression faible mais continue suivant en quelque sorte le

retrait de l'acide silicique, on obtient alors une matière parfaitement solide.

Comme le montrent ces expériences, la pression seule comme l'infiltration seule sont incapables de durcir des sédiments. Il faut la coopération de ces deux facteurs. M. Spring pense qu'un processus semblable peut expliquer la solidification des boues calcaires. Ces dernières imprégnées d'une solution de bicarbonate de chaux, d'autant plus concentrée que la pression est plus forte, ont pu se souder grâce au départ de l'anhydride carbonique et de la cristallisation lente du sel calcaire primitivement en solution.

En résumé les expériences de M. Spring montrent que *la solidification des sédiments se fait grâce à l'infiltration et à la pression.*

La pression seule peut agglutiner des métaux de même espèce ou d'espèce différente, grâce à leur malléabilité. Cette question sortant du cadre de notre sujet, nous renvoyons les lecteurs qu'elle pourrait intéresser au mémoire de M. Spring.

ADDENDA

Nous consignons ici les résultats d'une étude de *M. F.-W. Clarke sur la composition chimique de l'argile rouge*[1], publiés durant l'impression de ce volume.

Désirant connaître la composition moyenne de l'argile rouge des abysses, M. Clarke ne pouvait tirer aucune conclusion des analyses des échantillons du « Challenger », étant donné qu'aujourd'hui, grâce aux nouvelles méthodes, on recherche différents corps qui autrefois étaient négligés. Dans ce but, ce savant obtint de Sir John Murray cinquante et un échantillons différents d'argile rouge provenant de l'expédition du « Challenger » (35), des sondages du « Egeria » (12) du « Watervitch » (2) et du « Penguin » (2). L'analyse de tous ces échantillons de même poids, réunis en un seul, donna les résultats suivants :

1. F.-W. Clarke. The Composition of the Red Clay. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* Vol. *XXVII,* part. *III,* n° 17, p. 167.

		Moyenne des analyses du Challenger.
SiO^2	54,48	54,24
TiO^2	0,98	—
Al^2O^3	15,94	16,41
Cr^2O^3	0,012	—
Fe^2O^3	8,66	13,58
FeO	0,84	1,26
NiO, CoO	0,039	—
MnO^2	1,21	1,62
MgO	3,31	1,76
CaO	1,96	0,74
SrO	0,056	—
BaO	0,20	—
K^2O	2,85	1,61
Na^2O	2,05	1,37
V^2O^3	0,035	—
As^2O^3	0,001	—
MoO^3	traces	—
P^2O^5	0,30	0,35
CuO	0,024	—
PbO	0,008	—
ZnO	0,005	—
H^2O	7,04	7,02
	100,00	100,00

D'aucuns s'étonneront peut-être qu'une pareille analyse donne 100 °/₀. Aussi est-il juste de dire que M. Clarke élimina d'une première analyse une certaine quantité de carbonate et de sulfate de chaux provenant de l'eau de mer qui imprègne toujours le sédiment et qu'il recalcula le reste à cent pour cent.

Ces résultats montrent qu'en réalité le peroxyde de

fer est en moins grande quantité que ne pourraient le faire supposer les analyses du Challenger (8,66 contre 13,58) qui ont certainement été faites seulement sur des échantillons rouges. La teneur en silice, alumine et eau concorde assez bien avec celle des analyses du Challenger. Le titane, chrome, vanadium, barium, strontium, nickel, cuivre, plomb, arsenic et molybdène ne sont pas cités dans les analyses du « Challenger » et bien que Gibson ait signalé certains de ces corps dans ses analyses de nodules de manganèse, le fait qu'ils sont distribués d'une manière générale dans l'argile rouge restait à prouver.

M. Clarke, se basant sur le fait que dans les analyses de Brazier (Challenger) le fer soluble dans l'acide chlorhydrique est en excès sur celui qui est insoluble, ainsi que sur le fait de la présence de la potasse, émet l'idée que la glauconie existe sous forme diffuse dans l'argile rouge. Cette idée nous paraît insoutenable, comme le fit déjà remarquer M. le Dr Lee à la séance de la Société royale d'Edimbourg dans laquelle le mémoire de M. Clarke fut présenté. La potasse présente dans l'argile rouge provient, d'une part, de la phillipsite, de la palagonite, des verres volcaniques basiques toujours présents dans ce sédiment et d'autre part, du matériel primitif qui a été transformé en argile rouge.

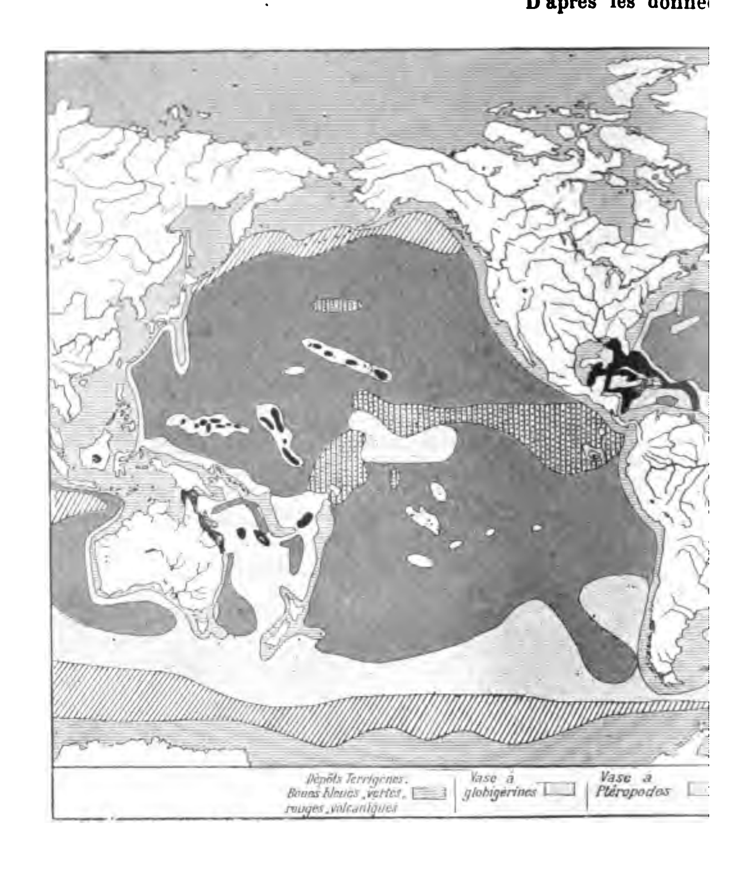
Nous avons dit (page 156) que l'absence de la glauconie dans l'argile rouge s'expliquait par le fait même de l'absence d'un des constituants essentiels : la potasse. Les nouveaux documents que nous possédons, grâce au travail de M. Clarke, nous montrent que la potasse existe dans les dépôts pélagiques et en parti-

culier dans l'argile rouge des abysses, nous ne pouvons donc plus maintenir l'explication que nous donnions de l'absence de la glauconie dans ces sédiments. Cette question, qui nous paraissait résolue, se pose donc à nouveau car, dans l'état actuel de nos connaissances, il ne nous est pas permis de formuler une hypothèse.

CARTE GÉNÉRALE I

PAR LE D[r] LÉ

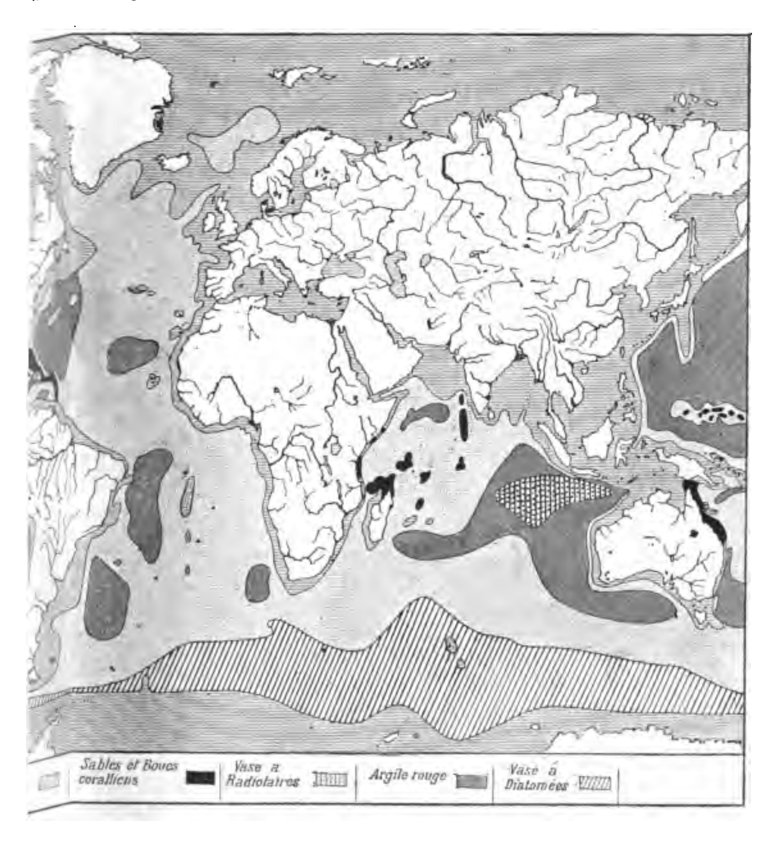
D'après les donné



ALE DES DÉPÔTS MARINS

E Dr LÉON-W. COLLET

ES DONNÉES les plus récentes.



INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

ANONYME, 1. *A Monograph of Christmas Island. Indian Ocean,* British Museum 1900.

— 2. *The Atoll of Funafuti.* Royal Society of London. 1904. Harrisson and Sons.

ANDERSON (Voir IRVINE 1).

AGASSIZ (Alexander). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College.* 1869-1876, p. 365. Cambridge U. S. A.

— 1. Three Cruises of the Blake. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College.* Vol. XIV. 1888. Cambridge U. S. A.

— 2. General Sketch of the Expedition of the Albatross from February to May 1891. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College.* Vol. XXIII, n° 1. 1892. Cambridge U. S. A.

— 3. A visit to the Great Barrier Reef of Australia. *American Journal of Science.* Vol. II. Sept. 1896.

— 4. The Islands and Coral Reefs of the Fiji Group. *American Journal of Science.* Vol. V. Feb. 1898.

— 5. An expedition to the Maldives. *American Journal of Science.* Vol. XIII. April 1902.

— 6 On the Progress of the Albatross Expedition to the Eastern Pacific. *American Journal of Science.* Vol. XIX. Feb. 1905.

BAILEY (J.). On the Origin of Greensand and its Formation in the Oceans of the Present Epoch. *American Journal of Science*, 2e série, vol. XXII, 1856 et *Proceedings of the Boston Society of Natural History.* Vol. V, 1856.

BASKERVILLE (Voir CORSE).

Bischof (G.). *Elements of Chemical and Physical Geology*. Vol. III. 1859.

Bornemann. *Jahrbuch der Preussichen Geologischen Landesanstalt*. 1885, p. 277.

Boussingault. Sur l'apparition du manganèse à la surface des roches. *Annales de Chimie et de Physique*. 5 ser. Tome XXVII, pp. 289-311. 1882.

Brown (Voir Pirie 2).

Brun (Albert). Quelques recherches sur le volcanisme. *Archives des Sciences physiques et naturelles*. Mai et juin 1905. Genève.

Buch (von L.). *Reise nach den canarischen Inseln*. 1825.

Calderon (S.) et Chaves (F.). Contributiones al Estudio de la glauconita. *Anales de la Sociedad espanola de Historia natural*. 2e série, tome III (XXIII). Madrid, 1894.

Cayeux (L.). 1. Notes sur la glauconie. *Annales de la Société géologique du Nord*. T. XX, p. 380. Lille, 1892.

— 2. *Contribution à l'étude micrographique des Terrains sédimentaires*. Lille, 1897, Le Bigot frères.

— 3. Les Concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank d'après le Dr L. W. Collet. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires. *Bulletin de la Société géologique de France*. 4e série, T. V. 1905, p. 751.

— 4. Genèse d'un minerai de fer par décomposition de la glauconie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 9 avril 1906.

— 5. Les Œufs d'insectes des lacs de Chalco et Texcoco des environs de Mexico et la formation des oolithes. *Geologorum conventus 1906*. Mexico.

Chaves (F.). 1. (Voir Calderon).

— 2. Contributiones a la Sintesis de los silicatos ferriferos por via humeda. *Anales de la Sociedad espanola de Historia Natural*. Vol. XXIV. Actas, p. 157. Madrid, 1895.

— 3. Estudio sobre las pseudomorphosis de proceso quimico. *Anales de la Sociedad espanola de Historia Natural*, t. XXVIII. Madrid, 1899.

Collet (Léon W.) 1. et Lee (Gabriel W.). Les Concrétions phosphatées de l'Agulhas Bank avec une note

sur la glauconie qu'elles contiennent. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* Vol. XXV, part. X, 1905.

Collet (Léon W.) 2. et Lee (Gabriel W.). Sur la composition chimique de la glauconie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.* 30 avril 1906.

— 3. et Lee (Gabriel. W.). Recherches sur la glauconie. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* Vol. XXVI. 1905-06.

Corse and Baskerville. *American chemical Journal.* Vol. XIV, p. 627, 1892.

Dana. 1. The system of Mineralogy, sixth edition.

— 2. First Appendix of the sixth edition of Dana's system of Mineralogy.

Darwin (Ch) *The structure and distribution of Coral Reefs.* London, 1889.

Delesse. *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe.* Paris, 1871.

De Lapparent (A.). *Traité de géologie,* t. I. *Phénomènes actuels,* 4e édit., Paris, 1900. Masson et Cie.

Ehrenberg *Mikrogeologie,* 1854.

Flint (J.-M.). A contribution to the Oceanography of the Pacific. *Bulletin of the United States National Museum,* no 55. Washington, 1905.

Frantzen. *Jahrbuch der Preussischen Geologischen Landesanstalt,* 1887, p. 78.

Gardiner (Stanley. J.). 1. The building of Atolls. Proceedings of the International Congress of Zoology. Cambridge, 1898.

— 2. *The Fauna and Geography of the Maldive and Laccadive Archipelagoes.* Cambridge University Press.

— 3. The Indian Ocean. *Geographical Journal,* Oct. and Nov. 1906.

Garwood (E. J.). On the origin and Mode of Formation of the Concretions in the Magnesian Limestone of Durham. *Geological Magazine.* Dec. 3, vol. 8, 1896.

Glinka (K.). Der Glaukonit, seine Entstehung, sein chemischer Bestand und die Art und Weise seiner Verwitterung. *Publication de l'Institut agronomique de Novo-Alexandria.* Russie, 1896.

GOSSELET (J.). 1. Observations géologiques faites dans les exploitations de phosphate de chaux en 1901. *Annales de la société géologique du Nord*, t. XXX, p. 208, Lille, 1901.
— 2. Observations sur la sédimentation de la craie. *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XXXI, p. 63. Lille, 1902.
GÜMBEL (V.). Die am gründe des Meeres vorkommenden Manganknollen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, 1878. Auszüge, p. 869.
— 2. Die am grunde des Meeres Vorkommenden Manganknollen. *Sistzungsberichte der K. Bayerische Akademie der Wissenschaften. Mathematish-Physikalische Classe*. 1878, II, pp. 189-208.
— 3. Ueber die Natur und Bildungsweise des Glaukonits. *Sitzungsberichte der K. Bayerische Akademie der Wissenschaften. Mathematish-Physikalische Classe*. München, 1886.
— 4. Ueber die Grünerde von Monte Baldo. *Sitzungsberichte der K. Bayerische Akademie der Wissenschaften. Mathematish-Physikalische Classe*. XXVI, 545, 1896. München.
— 5. Oolithbildung. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie geologie und Palaeontologie*, 1873, p. 363.
GUPPY (H. P.). The Cocos Keeling Islands. *Scottish Geographical Magazine*. 1889.
HEDDLE. Chapters on the Mineralogy of Scotland *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. Vol. XXIX, part. I, 1878-79.
HÖGBOM (A. G.). Ueber Dolomitbildung und dolomitische kalkorganismen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, p. 262-274. Vol. I, 1894.
HOSKINS (A. Percy). On glauconite from Antrim. *Geological Magazine*. July 1895.
IRVINE (Robert). 1 and ANDERSON (W. S.). On the Action of Metallic and other Salts on Carbonate of Lime. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, Vol. XVII, 1891.
— 2. (Voir MURRAY, 14).
— 3. (Voir MURRAY, 15).

IRVINE (Robert). 4. (Voir MURRAY, 17).

IRVING (A.), Organic matter as a geological agent. *Proceedings of the geologists Association*. Vol. XII, 1892.

JULIEN (A.). On the geological action of the Humus Acids. *Proceedings of the American Association for the Advancement of science*. Vol. XXVIII, 1879.

KALKOWSKY (E.). *Die Verkieselung der Gesteine in der nördlichen Kalahari*. Isis, 1901.

KNOP. Uber Kieselsaüreabscheidungen und Oolithbildung. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geolôgie und Palaeontologie*, 1874, p. 285.

LASNE (Henri). Sur les terrains phosphatés des environs de Doullens, étage sénonien et terrains superposés. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XX, 1892, p. 211.

LEE. 1. (Voir COLLET, 1).
— 2. (Voir COLLET, 2).
— 3. (Voir COLLET, 3).

LÉGER (M.). Sondeur à drague. *Bulletin du musée océanographique de Monaco*. N° 8, avril 1904.

LIBBEY (William). The relations of the Gulf Stream and the Labrador Current. *Report of the sixth International geographical Congress in London*. 1895.

LINCK (G.). Die Bildung der Oolithe und Rogensteine. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaentologie*. Beilage Band XVI, p. 495-513. 1903.

LORETZ. Untersuchungen uber Kalk und Dolomit. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 30, 1878, p. 387 et 31, 1879, p. 766.

LOHMANN (H.). Die Coccolithophoridæ, eine monographie der Coccolithen bildenden Flagellaten, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der Mittelmerauftriebs. *Archiv. für Protistenkunde*. Erster Band, p. 90-165. Iena. Gustav Fischer. 1902.

MONACO (Prince Albert de). L'outillage moderne de l'Océanographie. *Bulletin du Musée océanographique de Monaco*. N° 25. Mars 1905.

MUNIER-CHALMAS. Communication relative à l'origine des phosphates de la Somme et à la formation de la craie. *Bulletin de la Société géologique de France*. Comptes-rendus sommaires des séances. T. XX, 1892, p. XLVII.

MURRAY (John). 1. On the distribution of volcanic Debris over the Floor of the Ocean. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. Vol. IX, 1876, p. 247.
— 2. Preliminary Reports to Professor Wyville Thomson, on the Work done on board the « Challenger ». *Proceedings of the Royal Society*. Vol. XXIV. 1876. London.
— 3. On the structure and origin of Coral Reefs and Islands. *Proceedings of the Royal Society of Edinburg*. 1880. Vol. X, p. 505.
— 4. et RENARD (A.-F.). Les caractères microscopiques des cendres volcaniques et des poussières cosmiques et leur rôle dans les sédiments de mer profonde. *Bulletin du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique*. T. III. 1884.
— 5. Report on the Specimens of Bottom Deposits. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*. Vol. XII. N° 2.
— 6. On Seas and Estuaries about North Britain. *Philosophical Society of Glasgow*. 1886.
— 7. Total annual Rainfall of the Globe. *The Scottish Geographical Magazine*. Vol. III, 1887.
— 8. On some recent Deep-Sea observations in the Indian ocean. *The Scottish Geographical Magazine*. Nov. 1887.
— 9. Structure, origin, and Distribution of Coral Reef and Islands. *Royal Institution of Great Britain*. March 1888.
— 10. On Marine Deposits in the Indian, Southern, and Antarctic oceans. *The Scottish Geographical Magazine*. Aug. 1889.
— 11. et IRVINE (Robert). On coral Reefs and other carbonate of Lime formation in Modern Seas. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 1889-90, vol. XVII.
— 12. The Maltese Islands, with special reference to their geological structure. *The Scottish Geographical Magazine*. Vol. VI, p. 449, 1890.
— 13. AND RENARD. *Deep Sea Deposits*. Report of the

Scientific Results of the exploring voyage of H. M. S. « Challenger ». 1873-76. London, 1891. Eyre et Spottiswode.

MURRAY (John). **14.** AND IRVINE (Robert). On silica and siliceous Remains of organisms in modern Seas. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh.* Vol. XVIII, 1891.

— **15.** and IRVINE (Robert). On the Chemical changes which take place in the Composition of the Sea-water associated with blue muds on the Floor of the ocean. *Transactions of the Royal Society of Edimburgh.* Vol. XXVII, part. II. 1893.

— **16.** The Renewal of an Antarctic exploration. *The Geographical Journal.* Janv. 1894.

— **17.** and IRVINE (Robert). On the manganese oxides and manganese nodules in marine Deposits. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh.* Vol. XXXVII. 1894.

— **19.** The general conditions of existence and distribution of marine organisms. *Compte Rendu des séances du troisième Congrès international de Zoologie.* Leyde, 1896. E. J. Brill.

— **20.** On the Distribution of the Pelagic Foraminifera at the surface and on the Floor of the Ocean. *Natural Science.* Vol. XI. N° 65. July 1897.

— **21.** On the annual range of temperature in the surface waters of the Ocean and its relation to other oceanographical phenomena. *Geographical Journal.* Aug. 1898.

— **22.** On the Temperature of the Floor of the Ocean and of the surface Waters of the Ocean. *Geographical Journal.* July 1899.

— **23.** On the Deposits of the Black sea. *The Scottish Geographical Magazine.* Déc. 1900.

— **24.** (Voir PEAKE. 1.).

— **25.** Deep-sea Deposits and their distribution in the Pacific Ocean with notes on the samples col-

lected by S. S. « Britannia » 1901. *Geographical Journal*, June 1902.

MURRAY (John). 26. and PEAKE (R. E.). On recent contributions to our knowledge of the floor of the north Atlantic Ocean. *Extra publication of the Royal Geographical Society*. London, 1904.

NATTERER (C). Chemisch-geologische Tiefsee Forschung. *Geologische Zeitung*. V. Jahrgang, Leipzig. 1899.

PEAKE (R. E.). 1. and MURRAY (Sir John). Deep-sea Sounding Expedition in the north Atlantic during the Summer of 1899. *Supplementary Paper of the geographical Journal* 1901.

— 2. (Voir MURRAY 26.).

PHILIPPI (E.). Ueber Grundproben und geologisch-petrographische Arbeiten der Deutsche Südpolar-Expedition 1901-1903. Vorläufige Wissenschaftliche Ergebnisse berichtet auf dem XV deutschen Geographentag zu Danzig am 13 Juni 1905. *Verhandlungen des XV deutschen Geographentages zu Dantzig*. 1905. Berlin. Dietrich Reimer.

PIRIE (J.-H. HARVEY). 1. Deep-Sea Deposits of the South Atlantic ocean and Weddell Sea. *The Scottish Geographical Magazine*. Vol. XXI. 1905.

— 2. and BROWN (R. N. RUDMOSE). The Scottish National Antartic Expedition. Second Antarctic voyage of the « Scotia ». *Scottish Geographical Magazine*. Jan. 1905.

QUENSTEDT. Das Flötzgebirge Würtembergs. 1853, 43.

REID (W.-G.). Note on the Influence of Pressure on the Solubility of carbonate of Lime in Sea water containing free carbonic acid. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. Vol. XV. 1888, p. 151.

RENARD (A.-F.) et CORNET (J.). Recherches micrographiques sur la nature et l'origine des roches phosphatées. *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique* (classe des sciences), 61e année, 3 S., T. XXI, p. 126, 1891.

RENARD (A.-F) et CLÉMENT (C.). Sur la nature minérale des silex de la craie de Nouvelles, contribution à l'étude de leur formation. *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique* (classe des sciences (57e année. 3 S., T. XIV, p. 773. 1887.

ROSSBACH. Beitrag zur Kenntniss oolithischer gesteine. *Inaugural Dissertation*. Iena. Meiningen, 1884.

ROTHPLETZ. Uber die Bildung der Oolithe. *Botanische Centralblatt*. 51, p. 265-268.

SOLLAS (W.-J.). Funafuti : the study of a coral atoll. *Natural Science*. Jan. 1889.

SPENCER (J.-W.). Dr Nansen's Bathymetrical Features of the North Polar Sea, with a discussion of the Continental Shelves and the Previous Oscillations of the Shore-line. *The american geologist*. Vol. XXXV. Avril 1905.

STEINMANN (G.). Die Schardt'sche Ueberfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefsee absätze und der ophiolitischen Massengesteine. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B.* Band XVI, p. 18-67. 1905.

SPRING (W.). La plasticité des corps solides et ses rapports avec la formation des roches. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique* (classe des sciences), no 12, pp. 790-815. 1895.

SPURR (J.-E.). The Iron-bearing Rocks of the Mesabi Range. *Geological and Natural History Survey of Minnesota*. Bull. no 10, Minneapolis, 1894.

TEALL (J.-J.-H.). 1. A phosphatised Trachyte from Clipperton Atoll. *Quarterly Journal of the Geological Society*, may 1898.

— 2. Presidential Address to the Geologists Association. Feb. 2, 1900. *Proceedings of the Geologists Association*. Vol. XVI, 1900.

THOULET (J.) 1. Sur les spicules siliceux d'éponges vivantes. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XCVIII, p. 1000, 1884.

— 2. *Guide d'Océanographie pratique*. Paris. Encyclopédie des aide-mémoire. G. Masson et Gauthier-Villars et fils.

— 3. Etude de fonds marins provenant du voisinage des Açores et de la portion orientale de l'Atlantique nord. *Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht, par Albert Ier, Prince de Monaco*, fasc. XIX.

— 4. Etude des échantillons d'eaux et de fonds récoltés pendant la campagne du yacht « Prin-

cesse Alice » dans l'Atlantique nord en 1901. *Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht, par Albert Ier, Prince de Monaco,* fasc. XXII, 1902.

THOULET (J.). 5. L'*Océan*. Paris, 1904. Hachette et Cie.

— 6. *Précis d'analyse des fonds sous-marins actuels et anciens*. Paris. Chapelot et Cie, 1907.

— 7. *Instruments et opérations d'Océanographie pratique*. Paris. Chapelot et Cie, 1907.

TIZARD and MURRAY (John). Exploration of the Faroe Channel during the Summer of 1880 in H. M. S. hired ship Knight Errant. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh,* may 1882.

VIRLET D'AOUST. Sur les œufs d'insectes donnant lieu à la formation d'oolithes dans les calcaires lacustres au Mexique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 45, 1857, p. 865.

ZIRKEL (F.). *Lebrbuch der Petrographie*. Zweite, gänzlich neu verfasste auflage. Leipzig, 1893. Wilhem Engelmann.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS ET DES MATIÈRES

Acides organiques, 293.
AGASSIZ, 16, 21, 187, 191, 192, 195, 280.
Algues calcaires, **67**.
Amphistegina, 67.
Aragonite, 272, 274, 280, 281.
Arca, 35.
Argile rouge, **93**, **303**.
Argiope, 36.
Atoll (description d'un), **262**.
Atoll (structure interne d'un), **264**.

BAILEY, 6.
Bassin de Paris, 212.
BORNEMANN, 279.
Boues bleues, **40**, 184.
Boues coralliennes, **56**.
Boues rouges, **48**.
Boues vertes, **50**, 185.
Boues volcaniques, **53**.
BOUSSINGAULT, 123.
BRUN, 125.
Buccinum, 35.
BUCH, 279.

Calcite, 227, 228, 272, 280.
CALDERON, 168, 173.
Candeina, 68.
Carbonate de chaux, 31, 267, 287.
Carbonate de chaux (dissolution du), 58, **227**.
Carbonate de chaux (formation du), **218**.
Carbonate de magnésie, 58, **267**.
CAYEUX, 77, 150, 162, 183, 211, 212, 233, 286, 289, 291.
Cendres volcaniques, **241**.
CHAVES, 168, 170, 173.
Chondres, **250**.
Classification de Murray et Renard, **24**.
Classification de Thoulet, **26**.
Clyde (bassin de la), **128**.
Coccolithes, **68**.
COLLET, 180.
Concrétions phosphatées, 21, **194**.
Coralligènes (espèces), **252**.
Coraux (conditions de vie), **253**.
Coraux (croissance des), **256**.
Coraux (limite bathymétrique des), **255**.
Corbula, 35.
Cosmiques (poussières), **247**.
Courants volcaniques, 76, 77.
Crania, 36.
Craie (formation de la), 8, **77**.
Crête Wyville Thomson, 39.
Cryptodon, 36.
Cymbalopora, 68.

DANA, 165.
DARWIN, 257.

Décomposition de la Glauconie, **161**, 199.
De Lapparent, 11, 12, 13, 14, 17, 61, 279.
Dentalium, 36.
Dents de squales, 94, 100.
Dépôts littoraux, **25**.
Dépôts pélagiques, 25, **62**.
Dépôts terrigènes, 25, **36**.
Diatomées, 108, 109, 232, 238, 287, 293.
Dolomie, 272.

Eaux courantes (mesures de l'activité des), 59.
Eau de mer (composition de l'), **220**.
Eau d'imbibition des boues bleues **43**.
Ehrenberg, 279.
Emarginula, 35.

Fissurella, 35.
Flint, 56, 73, 192, 259.
Fonds marins (étude des), **30**.
Foraminifères pélagiques, **67**.
Frantzen, 279.
Funafuti, 269, 283.
Fusus, 35.

Gaize, **289**.
Gallets, 27.
Gardiner, 253, 255, 256, 261, 262, 275.
Garwood, 270.
Glauconie, 50, 100, **132**.
Glauconie en grains, 132, 134, **152**, 180.
Glauconie épigénique, **149**.
Glauconie pigmentaire, 132, **146**.
Glauconie (absence dans les lacs), **178**.
— (absence ou présence dans dépôts marins), **168**.
Glauconie (associations minérales), **155**.
— (biréfringence), **137**.
— (composition chimique), **164**.
— (couleur), **136**.
— (distribution), **183**.
— (dureté). **135**.
— (formation), **173**.
— (inclusions minérales), **157**.
— (moules imparfaits), **143**.
— (polychroïsme), **136**.
— (structure), **135**.
— (système cristallin), **138**.
Glauconitiques (moules), 133, **143**, 146.
Glinka, 161.
Globigerina, 67.
Globigérines, 67.
Globigérines (dissolution des), 73.
Gosselet, 182, 183.
Graviers, 27.
Grès, **289**.
Gumbel, 121, 154, 165, 168, 278, 280.

Halimeda, 265, 269.
Hastigerina, 68.
Hétéropodes, **82**, 229.
Heterostegina, 67.
Hogbom, 58, 71, 268, 269.
Holothuria, 277.
Hoskins, 165.

Irvine, 209.

Jacob, 213.
Julien, 178.

Kalkowsky, 279.
Knop, 280.

Lacuna, 35.

Lagune, 263, 266.
Laminaria, 35.
LASNE, 204, 206.
LEE, 180.
LÉGER, 30.
Levée, 264.
LIBBEY, 21.
Ligne de boues, 37.
Lima, 35.
LINCK, 278.
Lithothamnium, 265, 269.
LOHMANN, 68.
LORETZ, 280.

Manganèse dans les dépôts terrigènes, **126**.
Manganèse (nodules de), 98, 99, 104, **115**.
Mer Noire, 225.
MONACO, 28.
MUNIER-CHALMAS, 205, 206.
MURRAY, 10, 15, 18, 20, 21, 39, 43, 91, 104, 111, 122, 126, 165, 169, 170, 171, 178, 184, 185, 188, 189, 193, 194, 195, 199, 222-225, 227, 233, 241, 259, 291.

Natica, 35.
Nodules de manganèse (caractères généraux des), **115**.
— (composition chimique des), **119**.
— (formation des), **122**.
Nullipores, 36, 252, 253, 261.

Oolithes (formation des), **278**.
Orbitolites, 67.
Orbulina, 68.

Palagonite, 98, **245**.
Parties fines, 32, 33.
Pecten, 35.
Perforeurs (organismes), **275**.
Phillipsite, 100, **213**.
PHILIPPI, 31, 73, 74.
Phosphate de chaux sédimentaire, **211**.
Pierres, **27**.
PIRIE, 111, 113, 185.
Plateau continental, **36**.
Poussières cosmiques, **247**.
Pseudoolithes, **284**.
Ptéropodes, **81**, 229.
Pullenia, 68.
Pulvinulina, 68.

QUENSTEDT, 280.

Radiolaires, 232, 287.
Récifs coralliens, **257**.
Région littorale, **34**.
Région sublittorale, **34**.
Région subterrestre, **34**.
REID, 229.
RENARD, 203, 292.
Résidu, **31**.
Rhabdolithes, 68.
Rim, 263.
Rissoa, 35.
Rôle de la température, **10**.
Rôle des organismes siliceux, 286.
ROSSBACH, 280.
ROTHPLETZ, 279.
Rupture équilibre des mers, 212.
Rynchonella, 36.

Sables, 27.
Sables coralliens, 56.
Sables siliceux, 18.
Sables verts, 50, **185**, 295.
Sables volcaniques, **53**.
Silice (formation de la), **234**.
Silice (organismes sécrétant de la), 232.

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
Spencer, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
Spring, 300.
Spurr, 161, 199.
Steinmann, 92.

Teall, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
Thoulet, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
Virlet d'Aoust, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

Wad, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
Zirkel, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Chap. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
Chap. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

Chap. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

Chap. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

Chap. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

Chap. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
Chap. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

Chap. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
Chap. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
Chap. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

CHAP. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
CHAP. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAP. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes 126
III. Résumé. 131
CHAP. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus. 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être. 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice ? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite.* . . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

Chap. I. — *Espèces coralligènes* 252
Chap. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
Chap. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
Chap. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
Chap. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
Chap. VI. — *Description d'un atoll* 262
Chap. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
Chap. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

Chap. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
Chap. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
Chap. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

sède un ensemble complet, bien divisé et fournissant sur chaque science tous les enseignements et tous les renseignements qu'on en réclame. Du Dictionnaire, l'*Encyclopédie* gardera les facilités de recherches par le moyen d'une table générale, l'*Index de l'Encyclopédie*, qui paraîtra dès la publication d'un certain nombre de volumes et sera réimprimé périodiquement. L'*Index* renverra le lecteur aux différents volumes et aux pages où se trouvent traités les divers points d'une question.

Les éditions successives de chaque volume permettront de suivre toujours de près les progrès de la science. Et c'est par là que s'affirme la supériorité de ce mode de publication sur tout autre. Alors que, sous sa masse compacte, un traité, un dictionnaire ne peut être réédité et renouvelé que dans sa totalité et qu'à d'assez longs intervalles, inconvénients graves qu'atténuent mal des suppléments et des appendices, l'*Encyclopédie scientifique*, au contraire, pourra toujours rajeunir les parties qui ne seraient plus au courant des derniers travaux importants. Il est évident, par exemple, que si des livres d'algèbre ou d'acoustique physique peuvent garder leur valeur pendant de nombreuses années, les ouvrages exposant les sciences en formation, comme la chimie physique, la psychologie ou les technologies industrielles, doivent nécessairement être remaniés à des intervalles plus courts.

Le lecteur appréciera la souplesse de publication de cette *Encyclopédie*, toujours vivante, qui s'élargira au fur et à mesure des besoins dans le large cadre tracé dès le début, mais qui constituera toujours, dans son ensemble, un traité complet de la science, dans chacune de ses sections un traité complet d'une science et dans chacun de ses livres une monographie complète. Il pourra ainsi n'acheter que telle ou telle section de l'*Encyclopédie*, sûr de n'avoir pas des parties dépareillées d'un tout.

L'*Encyclopédie* demandera plusieurs années pour être achevée ; car pour avoir des expositions bien faites, elle a pris ses collaborateurs plutôt parmi les savants que parmi les professionnels de la rédaction scientifique que l'on retrouve généralement dans les œuvres similaires. Or les savants écrivent peu et lentement : et il est préférable de laisser temporaire-

ment sans attribution certains ouvrages plutôt que de les confier à des auteurs insuffisants. Mais cette lenteur et ces vides ne présenteront pas d'inconvénients, puisque chaque livre est une œuvre indépendante et que tous les volumes publiés sont à tout moment réunis par l'*Index de l'Encyclopédie*. On peut donc encore considérer l'Encyclopédie comme une librairie, où les livres soigneusement choisis, au lieu de représenter le hasard d'une production individuelle, obéiraient à un plan arrêté d'avance, de manière qu'il n'y ait ni lacune dans les parties ingrates, ni double emploi dans les parties très cultivées.

Caractère scientifique des ouvrages. — Actuellement, les livres de science se divisent en deux classes bien distinctes : les livres destinés aux savants spécialisés, le plus souvent incompréhensibles pour tous les autres, faute de rappeler au début des chapitres les connaissances nécessaires, et surtout faute de définir les nombreux termes techniques incessamment forgés, ces derniers rendant un mémoire d'une science particulièrement inintelligible à un savant qui en a abandonné l'étude durant quelques années ; et ensuite les livres écrits pour le grand public qui sont sans profit pour des savants et même pour des personnes d'une certaine culture intellectuelle.

L'*Encyclopédie scientifique* a l'ambition de s'adresser au public le plus large. Le savant spécialisé est assuré de rencontrer dans les volumes de sa partie une mise au point très exacte de l'état actuel des questions ; car chaque bibliothèque, par ses techniques et ses monographies, est d'abord faite avec le plus grand soin pour servir d'instrument d'études et de recherches à ceux qui cultivent la science particulière qu'elle représente, et sa devise pourrait être : *Par les savants, pour les savants.* Quelques-uns de ces livres seront même, par leur caractère didactique, destinés à devenir des ouvrages classiques et à servir aux études de l'enseignement secondaire ou supérieur. Mais, d'autre part, le lecteur non spécialisé est certain de trouver, toutes les fois que cela sera nécessaire, au seuil de la section, — dans un ou plusieurs volumes de généralités, — et au seuil du volume, — dans un chapitre particulier, — des don-

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
SPENCER, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
SPRING, 300.
SPURR, 161, 199.
STEINMANN, 92.

TEALL, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
THOULET, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
VIRLET d'AOUST, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

WAD, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
ZIRKEL, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAP. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
CHAP. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

CHAP. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

CHAP. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

Chap. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

Chap. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
Chap. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

Chap. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
Chap. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
Chap. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

CHAP. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
CHAP. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAP. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes . . . 126
III. Résumé. 131
CHAP. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus. 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être. 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

Chap. I. — *Espèces coralligènes* 252
Chap. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
Chap. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
Chap. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
Chap. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
Chap. VI. — *Description d'un atoll* 262
Chap. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
Chap. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

Chap. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
Chap. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
Chap. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
SPENCER, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
SPRING, 300.
SPURR, 161, 199.
STEINMANN, 92.

TEALL, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
THOULET, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
VIRLET d'AOUST, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

WAD, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
ZIRKEL, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Chap. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
Chap. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

Chap. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

Chap. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

CHAP. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

CHAP. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
CHAP. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

CHAP. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
CHAP. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
CHAP. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Chap. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5

— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10

§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10

§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15

§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18

Chap. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

Chap. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24

— II. — *Classification de Thoulet* 26

— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28

§ 1. Les sondeurs 28

§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

Chap. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34

§ 1. Région subterrestre 34

§ 2. — littorale 34

§ 3. — sublittorale. 34

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

Chap. I. — *Espèces coralligènes* 252
Chap. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
Chap. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
Chap. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
Chap. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
Chap. VI. — *Description d'un atoll* 262
Chap. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
Chap. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

Chap. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
Chap. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
Chap. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr Toulouse

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
Spencer, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
Spring, 300.
Spurr, 161, 199.
Steinmann, 92.

Teall, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
Thoulet, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
Virlet d'Aoust, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

Wad, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
Zirkel, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAP. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
CHAP. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

CHAP. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins . . , ... 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

CHAP. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

CHAP. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

CHAP. I. — *Le plâteau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
CHAP. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

CHAP. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
CHAP. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
CHAP. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

Chap. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
Chap. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

Chap. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes . . . 126
III. Résumé. 131
Chap. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
Chap. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
Chap. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
Chap. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
Chap. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

Chap. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
Chap. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
Chap. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

CHAP. I. — *Espèces coralligènes* 252
CHAP. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
CHAP. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
CHAP. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
CHAP. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
CHAP. VI. — *Description d'un atoll* 262
CHAP. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
CHAP. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

CHAP. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
CHAP. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
CHAP. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

Décomposition de la Glauconie, **161**, 199.
De Lapparent, 11, 12, 13, 14, 17, 61, 279.
Dentalium, 36.
Dents de squales, 94, 100.
Dépôts littoraux, **25**.
Dépôts pélagiques, 25, **62**.
Dépôts terrigènes, 25, **36**.
Diatomées, 108, 109, 232, 238, 287, 293.
Dolomie, 272.

Eaux courantes (mesures de l'activité des), 59.
Eau de mer (composition de l'), **220**.
Eau d'imbibition des boues bleues **43**.
Ehrenberg, 279.
Emarginula, 35.

Fissurella, 35.
Flint, 56, 73, 192, 259.
Fonds marins (étude des), **30**.
Foraminifères pélagiques, **67**.
Frantzen, 279.
Funafuti, 269, 283.
Fusus, 35.

Gaize, **289**.
Gallets, 27.
Gardiner, 253, 255, 256, 261, 262, 275.
Garwood, 270.
Glauconie, 50, 100, **132**.
Glauconie en grains, 132, 134, **152**, 180.
Glauconie épigénique, **149**.
Glauconie pigmentaire, 132, **146**.
Glauconie (absence dans les lacs), **178**.
— (absence ou présence dans dépôts marins), **168**.
Glauconie (associations minérales), **155**.
— (biréfringence), **137**.
— (composition chimique), **164**.
— (couleur), **136**.
— (distribution), **183**.
— (dureté). **135**.
— (formation), **173**.
— (inclusions minérales), **157**.
— (moules imparfaits), **143**.
— (polychroïsme), **136**.
— (structure), **135**.
— (système cristallin), **138**.
Glauconitiques (moules), 133, **143**, **146**.
Glinka, 161.
Globigerina, 67.
Globigérines, 67.
Globigérines (dissolution des), 73.
Gosselet, 182, 183.
Graviers, 27.
Grès, **289**.
Gumbel, 121, 154, 165, 168, 278, 280.

Halimeda, 265, 269.
Hastigerina, 68.
Hétéropodes, **82**, 229.
Heterostegina, 67.
Hogbom, 58, 71, 268, 269.
Holothuria, 277.
Hoskins, 165.

Irvine, 209.

Jacob, 213.
Julien, 178.

Kalkowsky, 279.
Knop, 280.

Lacuna, 35.

Lagune, 263, 266.
Laminaria, 35.
LASNE, 204, 206.
LEE, 180.
LÉGER, 30.
Levée, 264.
LIBBEY, 21.
Ligne de boues, 37.
Lima, 35.
LINCK, 278.
Lithothamnium, 265, 269.
LOHMANN, 68.
LORETZ, 280.

Manganèse dans les dépôts terrigènes, **126**.
Manganèse (nodules de), 98, 99, 104, **115**.
Mer Noire, 225.
MONACO, 28.
MUNIER-CHALMAS, 205, 206.
MURRAY, 10, 15, 18, 20, 21, 39, 43, 91, 104, 111, 122, 126, 165, 169, 170, 171, 178, 184, 185, 188, 189, 193, 194, 195, 199, 222-225, 227, 233, 241, 259, 291.

Natica, 35.
Nodules de manganèse (caractères généraux des), **115**.
— (composition chimique des), **119**.
— (formation des), **122**.
Nullipores, 36, 252, 253, 261.

Oolithes (formation des), **278**.
Orbitolites, 67.
Orbulina, 68.

Palagonite, 98, **245**.
Parties fines, 32, 33.
Pecten, 35.
Perforeurs (organismes), **275**.
Phillipsite, 100, **213**.
PHILIPPI, 31, 73, 74.
Phosphate de chaux sédimentaire, **211**.
Pierres, **27**.
PIRIE, 111, 113, 185.
Plateau continental, **36**.
Poussières cosmiques, **247**.
Pseudoolithes, **284**.
Ptéropodes, **81**, 229.
Pullenia, 68.
Pulvinulina, 68.

QUENSTEDT, 280.

Radiolaires, 232, 287.
Récifs coralliens, **257**.
Région littorale, **34**.
Région sublittorale, **34**.
Région subterrestre, **34**.
REID, 229.
RENARD, 203, 292.
Résidu, **31**.
Rhabdolithes, 68.
Rim, 263.
Rissoa, 35.
Rôle de la température, **10**.
Rôle des organismes siliceux, 286.
ROSSBACH, 280.
ROTHPLETZ, 279.
Rupture équilibre des mers, 212.
Rynchonella, 36.

Sables, 27.
Sables coralliens, 56.
Sables siliceux, 18.
Sables verts, 50, **185**, 295.
Sables volcaniques, **53**.
Silice (formation de la), **234**.
Silice (organismes sécrétant de la), 232.

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
SPENCER, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
SPRING, 300.
SPURR, 161, 199.
STEINMANN, 92.

TEALL, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
THOULET, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
VIRLET d'AOUST, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

WAD, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
ZIRKEL, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Chap. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
Chap. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

Chap. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

Chap. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

CHAP. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

CHAP. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
CHAP. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

CHAP. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
CHAP. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
CHAP. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

CHAP. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
CHAP. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAP. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes . . . 126
III. Résumé. 131
CHAP. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus. 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être. 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice ? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

CHAP. I. — *Espèces coralligènes* 252
CHAP. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
CHAP. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
CHAP. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
CHAP. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
CHAP. VI. — *Description d'un atoll* 262
CHAP. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
CHAP. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

CHAP. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
CHAP. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
CHAP. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

Décomposition de la Glauconie, **161**, 199.
De Lapparent, 11, 12, 13, 14, 17, 61, 279.
Dentalium, 36.
Dents de squales, 94, 100.
Dépôts littoraux, **25**.
Dépôts pélagiques, 25, **62**.
Dépôts terrigènes, 25, **36**.
Diatomées, 108, 109, 232, 238, 287, 293.
Dolomie, 272.

Eaux courantes (mesures de l'activité des), 59.
Eau de mer (composition de l'), **220**.
Eau d'imbibition des boues bleues **43**.
Ehrenberg, 279.
Emarginula, 35.

Fissurella, 35.
Flint, 56, 73, 192, 259.
Fonds marins (étude des), **30**.
Foraminifères pélagiques, **67**.
Frantzen, 279.
Funafuti, 269, 283.
Fusus, 35.

Gaize, **289**.
Gallets, 27.
Gardiner, 253, 255, 256, 261, 262, 275.
Garwood, 270.
Glauconie, 50, 100, **132**.
Glauconie en grains, 132, 134, **152**, 180.
Glauconie épigénique, **149**.
Glauconie pigmentaire, 132, **146**.
Glauconie (absence dans les lacs), **178**.
— (absence ou présence dans dépôts marins), **168**.
Glauconie (associations minérales), **155**.
— (biréfringence), **137**.
— (composition chimique), **164**.
— (couleur), **136**.
— (distribution), **183**.
— (dureté). **135**.
— (formation), **173**.
— (inclusions minérales), **157**.
— (moules imparfaits), **143**.
— (polychroïsme), **136**.
— (structure), **135**.
— (système cristallin), **138**.
Glauconitiques (moules), 133, **143**, 146.
Glinka, 161.
Globigerina, 67.
Globigérines, 67.
Globigérines (dissolution des), 73.
Gosselet, 182, 183.
Graviers, 27.
Grès, **289**.
Gumbel, 121, 154, 165, 168, 278, 280.

Halimeda, 265, 269.
Hastigerina, 68.
Hétéropodes, **82**, 229.
Heterostegina, 67.
Hogbom, 58, 71, 268, 269.
Holothuria, 277.
Hoskins, 165.

Irvine, 209.

Jacob, 213.
Julien, 178.

Kalkowsky, 279.
Knop, 280.

Lacuna, 35.

Lagune, 263, 266.
Laminaria, 35.
Lasne, 204, 206.
Lee, 180.
Léger, 30.
Levée, 264.
Libbey, 21.
Ligne de boues, 37.
Lima, 35.
Linck, 278.
Lithothamnium, 265, 269.
Lohmann, 68.
Loretz, 280.

Manganèse dans les dépôts terrigènes, **126**.
Manganèse (nodules de), 98, 99, 104, **115**.
Mer Noire, 225.
Monaco, 28.
Munier-Chalmas, 205, 206.
Murray, 10, 15, 18, 20, 21, 39, 43, 91, 104, 111, 122, 126, 165, 169, 170, 171, 178, 184, 185, 188, 189, 193, 194, 195, 199, 222-225, 227, 233, 241, 259, 291.

Natica, 35.
Nodules de manganèse (caractères généraux des), **115**.
— (composition chimique des), **119**.
— (formation des), **122**.
Nullipores, 36, 252, 253, 261.

Oolithes (formation des), **278**.
Orbitolites, 67.
Orbulina, 68.

Palagonite, 98, **245**.
Parties fines, 32, 33.
Pecten, 35.
Perforeurs (organismes), **275**.
Phillipsite, 100, **213**.
Philippi, 31, 73, 74.
Phosphate de chaux sédimentaire, **211**.
Pierres, **27**.
Pirie, 111, 113, 185.
Plateau continental, **36**.
Poussières cosmiques, **247**.
Pseudoolithes, **284**.
Ptéropodes, **81**, 229.
Pullenia, 68.
Pulvinulina, 68.

Quenstedt, 280.

Radiolaires, 232, 287.
Récifs coralliens, **257**.
Région littorale, **34**.
Région sublittorale, **34**.
Région subterrestre, **34**.
Reid, 229.
Renard, 203, 292.
Résidu, **31**.
Rhabdolithes, 68.
Rim, 263.
Rissoa, 35.
Rôle de la température, **10**.
Rôle des organismes siliceux, 286.
Rossbach, 280.
Rothpletz, 279.
Rupture équilibre des mers, 212.
Rynchonella, 36.

Sables, 27.
Sables coralliens, 56.
Sables siliceux, 18.
Sables verts, 50, **185**, 295.
Sables volcaniques, **53**.
Silice (formation de la), **234**.
Silice (organismes sécrétant de la), 232.

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
SPENCER, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
SPRING, 300.
SPURR, 161, 199.
STEINMANN, 92.

TEALL, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
THOULET, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
VIRLET d'AOUST, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

WAD, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
ZIRKEL, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAP. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5
— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10
§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10
§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15
§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18
CHAP. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

CHAP. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24
— II. — *Classification de Thoulet* 26
— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28
§ 1. Les sondeurs 28
§ 2. Etude des fonds marins . . , ... 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

CHAP. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34
§ 1. Région subterrestre 34
§ 2. — littorale 34
§ 3. — sublittorale. 34

CHAP. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

CHAP. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
CHAP. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques.* 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens.* 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes.* 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

CHAP. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
CHAP. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
CHAP. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

CHAP. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
CHAP. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAP. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes . . . 126
III. Résumé. 131
CHAP. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus. 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être. 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

CHAP. I. — *Espèces coralligènes* 252
CHAP. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
CHAP. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
CHAP. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
CHAP. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
CHAP. VI. — *Description d'un atoll* 262
CHAP. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
CHAP. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

CHAP. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
CHAP. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
CHAP. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

Solidification des sédiments, 299.
Sondeur à drague, **30**.
Sondeur Buchanan, **29**.
Spencer, 37.
Sphaeroidina, 68.
Sphérules magnétiques, 248.
Spring, 300.
Spurr, 161, 199.
Steinmann, 92.

Teall, 203.
Température (influence de la), **15**.
Terebratula, 36.
Terebratulina, 36.
Thetis, 36.
Thoulet, 18, 26, 76, 221, 225.
Tuf volcanique, 244.
Tyle-fish, **20**, 21.

Variation de la température, **19**.
Vases, 27.
Vase à diatomées, **106**.
Vase à globigérines, **63**.
Vase à ptéropodes, **80**.
Vase à radiolaires, **87**.
Venus, 35.
Verre volcanique, 99, **245**.
Virlet d'Aoust, 280.
Vitesse de formation des dépôts terrigènes, 60.

Wad, 121.
Waldheimia, 36.

Zéolithes, 213.
Zirkel, 278.
Zone abyssale, **11**.
Zone des corallines, **35**.
Zone des coraux de mer profonde, **36**.
Zone de laminaires, **35**.
Zone littorale, **34**.
Zostera, 35.

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

CHAP. I. — *Les précurseurs de Murray et Renard* . . . 5

— II. — *Du rôle de la température dans la distribution des organismes et des dépôts marins* 10

§ 1. Influence de la température sur la distribution des organismes de mer profonde 10

§ 2. Influence de la température sur les organismes vivant à la surface et subsurface des océans . . 15

§ 3. Relations entre les écarts de température des eaux de surface et la distribution des dépôts marins 18

CHAP. III. — *Divisions du volume* 23

Ire PARTIE

LES DIFFÉRENTS FONDS MARINS

A. CLASSIFICATION. RÉCOLTE. ETUDE

CHAP. I. — *Classification de Murray et Renard*. . . . 24

— II. — *Classification de Thoulet* 26

— III. — *La récolte et l'étude des sédiments marins* . 28

§ 1. Les sondeurs 28

§ 2. Etude des fonds marins 30

B. LES DÉPÔTS LITTORAUX

CHAP. I. — *Zone littorale ou intercotidale*. 34

§ 1. Région subterrestre 34

§ 2. — littorale 34

§ 3. — sublittorale. 34

CHAP. II. — *Zone des laminaires* 35
— III. — *Zone des corallines* 35
— IV. — *Zone des coraux de mer profonde* 36

C. LES DÉPÔTS TERRIGÈNES

CHAP. I. — *Le plateau continental* 36
— II. — *Les boues bleues* 40
§ 1. Caractères généraux 40
§ 2. Composition chimique. 42
§ 3. Composition de l'eau d'imbibition. 43
§ 4. Résumé. 48
CHAP. III. — *La boue rouge* 48
— IV. — *Les boues vertes et sables verts* 50
— V. — *Les boues et sables volcaniques*. 53
— VI. — *Les boues et sables coralliens*. 56
— VII. — *Mesure de la sédimentation dans les dépôts terrigènes*. 59
§ 1. Mesure de l'activité des eaux courantes. . . 59
§ 2. Vitesse de formation des dépôts terrigènes . 60
§ 3. Répartition des dépôts terrigènes 61

D. LES DÉPÔTS PÉLAGIQUES

CHAP. I. — *La vase à globigérines* 62
§ 1. Caractères généraux 62
§ 2. Foraminifères et algues calcaires entrant dans la composition de la vase à globigérines. . . . 67
§ 3. Composition chimique. 69
§ 4. Distribution bathymétrique et géographique. 72
§ 5. La craie et la vase à globigérines. 77
CHAP. II. — *La vase à ptéropodes* 80
§ 1. Caractères généraux 80
§ 2. Composition chimique 84
§ 3. Distribution 86
CHAP. III. — *La vase à radiolaires* 87
§ 1. Caractères généraux 87
§ 2. Composition chimique 90
§ 3. Distribution 91
§ 4. Couches à radiolaires des assises sédimentaires 92

CHAP. IV. — *L'argile rouge* 93
§ 1. Caractères généraux 93
§ 2. Composition minéralogique. 96
§ 3. — chimique 101
§ 4. Distribution 105
CHAP. V. — *La vase à diatomées*. 106
§ 1. Caractères généraux 106
§ 2. Composition chimique 110
§ 3. Distribution 111
§ 4. Les vases à diatomées de la « Scotia » et du « Nero » 111

IIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE CHIMIQUE DANS LES DÉPOTS MARINS

CHAP. I. — *Les Dépôts de manganèse* 115
I. Les nodules de manganèse dans les dépôts de mer profonde 115
§ 1. Caractères généraux 115
§ 2. — microscopiques 118
§ 3. Composition chimique 119
§ 4. Mode de formation 122
II. Le manganèse dans les dépôts terrigènes . . . 126
III. Résumé. 131
CHAP. II. — *La glauconie* 132
§ 1. Glauconie en tant que minéral 132
a. Habitus. 132
b. Propriétés physiques 135
c. — optiques. 136
d. Relations entre la glauconie et ses diverses manières d'être. 138
e. Moules imparfaits 143
f. Glauconie pigmentaire 146
g. Formation des grains de glauconie 152
h. Associations minérales 155
i. Inclusions minérales 157
k. Décomposition de la glauconie 161
§ 2. Composition chimique. 164

§ 3. Formation 168
§ 4. La glauconie et les concrétions phosphatées. 179
§ 5. Distribution de la glauconie dans les mers actuelles 183
CHAP. III. — *Les Concrétions phosphatées* 194
§ 1. Distribution géographique 194
§ 2. Caractères généraux 196
§ 3. Composition chimique 201
§ 4. Mode de formation 202
§ 5. Genèse des gisements de phosphate de chaux sédimentaires 211
CHAP. IV. — *La Phillipsite et les zéolites* 213
§ 1. Caractères généraux 213
§ 2. Composition chimique 215
§ 3. Mode de formation 217
CHAP. V. — *Formation du carbonate de chaux* 218
§ 1. Le carbonate de chaux sur le fond de la mer. 218
§ 2. Composition de l'eau de mer 220
§ 3. Formation du carbonate de chaux des organismes calcaires 222
§ 4. Le dépôt de carbonate de chaux précipité dans la mer Noire 225
§ 5. Dissolution du carbonate de chaux. 227
CHAP. VI. — *La silice d'origine organique* 231
§ 1. Organismes sécrétant de la silice 232
§ 2. D'où les organismes marins extraient-ils leur silice? 234

IIIe PARTIE

FORMATIONS D'ORIGINE VOLCANIQUE ET COSMIQUE

CHAP. I. — *Les Cendres volcaniques* 241
CHAP. II. — *Verre volcanique basique et palagonite*. . . 245
CHAP. III. — *Les Poussières cosmiques* 247
§ 1. Les sphérules magnétiques 248
§ 2. Les chondres 250

IVe PARTIE

LES FORMATIONS CORALLIENNES

CHAP. I. — *Espèces coralligènes* 252
CHAP. II. — *Conditions de vie des espèces coralligènes* . . 253
CHAP. III. — *Limite bathymétrique des espèces coralligènes* 255
CHAP. IV. — *Croissance des coraux et des récifs coralliens* 256
CHAP. V. — *Formation des récifs coralliens. Théories de Darwin et de Murray* 257
CHAP. VI. — *Description d'un atoll* 262
CHAP. VII. — *Structure interne d'un atoll montrée par le forage de Funafuti* 264
CHAP. VIII. — *Action des organismes perforeurs et de ceux se nourrissant de sable* 275

Ve PARTIE

QUELQUES FORMATIONS INTÉRESSANTES DES SÉDIMENTS ANCIENS

CHAP. I. — *Formation des oolithes* 278
§ 1. Caractères généraux 278
§ 2. Mode de formation 280
CHAP. II. — *Du rôle des organismes siliceux dans les roches sédimentaires* 286
§ 1. Introduction 286
§ 2. Gaize et grès 289
§ 3. Origine de la silice du ciment des gaizes . . 290
§ 4. Comparaison des roches siliceuses du groupe des gaizes avec les sédiments actuels et comparaison en général des roches sédimentaires avec les sédiments actuels 295
CHAP. III. — *Solidification des sédiments. Expériences de Spring* 299
Addenda 303
Index bibliographique 307
Table alphabétique des auteurs et des matières . . . 317

OCTAVE DOIN, ÉDITEUR, 8, PLACE DE L'ODÉON, PARIS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Etudes, d'une ENCYCLOPEDIE SCIENTIFIQUE de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités massifs, — d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que pos-

nées qui formeront une véritable introduction le mettant à même de poursuivre avec profit sa lecture. Un vocabulaire technique, placé, quand il y aura lieu, à la fin du volume, lui permettra de connaître toujours le sens des mots spéciaux.

II

ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Par son organisation scientifique, l'*Encyclopédie* paraît devoir offrir aux lecteurs les meilleures garanties de compétence. Elle est divisée en sections ou bibliothèques, à la tête desquelles sont placés des savants professionnels spécialisés dans chaque ordre de sciences et en pleine force de production, qui, d'accord avec le Directeur général, établissent les divisions des matières, choisissent les collaborateurs et acceptent les manuscrits. Le même esprit se manifestera partout ; éclectisme et respect de toutes les opinions logiques, subordination des théories aux données de l'expérience, soumission à une discipline rationnelle stricte ainsi qu'aux règles d'une exposition méthodique et claire. De la sorte, le lecteur, qui aura été intéressé par les ouvrages d'une section dont il sera l'abonné régulier, sera amené à consulter avec confiance les livres des autres sections dont il aura besoin, puisqu'il sera assuré de trouver partout la même pensée et les mêmes garanties. Actuellement, en effet, il est, hors de sa spécialité, sans moyen pratique de juger de la compétence réelle des auteurs.

Pour mieux apprécier les tendances variées du travail scientifique adapté à des fins spéciales, l'*Encyclopédie* a sollicité, pour la direction de chaque Bibliothèque, le concours d'un savant placé dans le centre même des études du ressort. Elle a pu ainsi réunir des représentants des principaux corps savants, établissements d'enseignement et de recherches de langue française :

Institut.
Académie de Médecine.
Collège de France.
Museum d'Histoire naturelle.
Ecole des Hautes-Etudes.
Sorbonne et Ecole normale.

Facultés des Sciences.
Facultés des Lettres.
Facultés de Médecine.
Institut Pasteur.
Ecole des Ponts et Chaussées.
Ecole des Mines.
Ecole Polytechnique.
Conservatoire des Arts et Métiers.
Ecole d'Anthropologie.
Institut National agronomique.
Ecole vétérinaire d'Alfort.
Ecole supérieure d'Electricité.
Ecole de Chimie industrielle de Lyon.
Ecole des Beaux-Arts.
Ecole des Sciences politiques.
Observatoire de Paris.
Hôpitaux de Paris.

III

BUT DE L'ENCYCLOPÉDIE

Au XVIIIe siècle, « l'Encyclopédie » a marqué un magnifique mouvement de la pensée vers la critique rationnelle. A cette époque, une telle manifestation devait avoir un caractère philosophique. Aujourd'hui, l'heure est venue de renouveler ce grand effort de critique, mais dans une direction strictement scientifique; c'est là le but de la nouvelle *Encyclopédie*.

Ainsi la science pourra lutter avec la littérature pour la direction des esprits cultivés, qui, au sortir des écoles, ne demandent guère de conseils qu'aux œuvres d'imagination et à des encyclopédies où la science a une place restreinte, tout à fait hors de proportion avec son importance. Le moment est favorable à cette tentative ; car les nouvelles générations sont plus instruites dans l'ordre scientifique que les précédentes. D'autre part la science est devenue, par sa complexité et par les corrélations de ses parties, une matière qu'il n'est plus possible d'exposer sans la collaboration de tous les spécialistes, unis là comme le sont les producteurs dans tous les départements de l'activité économique contemporaine.

A un autre point de vue, l'*Encyclopédie*, embrassant toutes les manifestations scientifiques, servira comme tout inventaire à mettre au jour les lacunes, les champs encore en friche ou abandonnés, — ce qui expliquera la lenteur avec laquelle certaines sections se développeront, — et suscitera peut-être les travaux nécessaires. Si ce résultat est atteint, elle sera fière d'y avoir contribué.

Elle apporte en outre une classification des sciences et, par ses divisions, une tentative de mesure, une limitation de chaque domaine. Dans son ensemble, elle cherchera à refléter exactement le prodigieux effort scientifique du commencement de ce siècle et un moment de sa pensée, en sorte que dans l'avenir elle reste le document principal où l'on puisse retrouver et consulter le témoignage de cette époque intellectuelle.

On peut voir aisément que l'*Encyclopédie* ainsi conçue, ainsi réalisée, aura sa place dans toutes les bibliothèques publiques, universitaires et scolaires, dans les laboratoires, entre les mains des savants, des industriels et de tous les hommes instruits qui veulent se tenir au courant des progrès, dans la partie qu'ils cultivent eux-mêmes ou dans tout le domaine scientifique. Elle fera jurisprudence, ce qui lui dicte le devoir d'impartialité qu'elle aura à remplir.

Il n'est plus possible de vivre dans la société moderne en ignorant les diverses formes de cette activité intellectuelle qui révolutionne les conditions de la vie ; et l'interdépendance de la science ne permet plus aux savants de rester cantonnés, spécialisés dans un étroit domaine. Il leur faut, — et cela leur est souvent difficile, — se mettre au courant des recherches voisines. A tous l'*Encyclopédie* offre un instrument unique dont la portée scientifique et sociale ne peut échapper à personne.

IV

CLASSIFICATION DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES

La division de l'*Encyclopédie* en bibliothèques a rendu nécessaire l'adoption d'une classification des sciences, où se manifeste nécessairement un certain arbitraire, étant donné que les sciences se distinguent beaucoup moins par les différences de leurs objets que par les divergences des aperçus et des habitudes de notre esprit. Il se produit en pratique des interpénétrations réciproques entre leurs domaines, en sorte que, si l'on donnait à chacun l'étendue à laquelle il peut se croire en droit de prétendre, il envahirait tous les territoires voisins ;

une limitation assez stricte est nécessitée par le fait même de la juxtaposition de plusieurs sciences.

Le plan choisi, sans viser à constituer une synthèse philosophique des sciences, qui ne pourrait être que subjective, a tendu pourtant à échapper, dans la mesure du possible, aux habitudes traditionnelles d'esprit, particulièrement à la routine didactique, et à s'inspirer de principes rationnels.

Il y a deux grandes divisions dans le plan général de l'*Encyclopédie:* d'un côté les sciences pures, et, de l'autre, toutes les technologies qui correspondent à ces sciences dans la sphère des applications. A part et au début, une Bibliothèque d'application générale est consacrée à la philosophie des sciences (histoire des idées directrices, logique et méthodologie).

Les sciences pures et appliquées présentent en outre une division générale en sciences du monde inorganique et en sciences biologiques. Dans ces deux grandes catégories, l'ordre est celui de particularité croissante, qui marche parallèlement à une rigueur décroissante. Dans les sciences biologiques pures enfin, un groupe de sciences s'est trouvé mis à part, en tant qu'elles s'occupent moins de dégager des lois générales et abstraites que de fournir des monographies d'êtres concrets, depuis la paléontologie jusqu'à l'anthropologie et l'ethnographie.

Etant donnés les principes rationnels qui ont dirigé cette classification, il n'y a pas lieu de s'étonner de voir apparaître des groupements relativement nouveaux, une biologie générale, — une physiologie et une pathologie végétales, distinctes aussi bien de la botanique que de l'agriculture, une chimie physique, etc.

En revanche, des groupements hétérogènes se disloquent pour que leurs parties puissent prendre place dans les disciplines auxquelles elles doivent revenir. La géographie, par exemple, retourne à la géologie, et il y a des géographies botanique, zoologique, anthropologique, économique, qui sont étudiées dans la botanique, la zoologie, l'anthropologie, les sciences économiques.

Les sciences médicales, immense juxtaposition de tendances très diverses, unies par une tradition utilitaire, se désa-

grègent en des sciences ou des techniques précises ; la pathologie, science de lois, se distingue de la thérapeutique ou de l'hygiène, qui ne sont que les applications des données générales fournies par les sciences pures, et à ce titre mises à leur place rationnelle.

Enfin, il a paru bon de renoncer à l'anthropocentrisme qui exigeait une physiologie humaine, une anatomie humaine, une embryologie humaine, une psychologie humaine. L'homme est intégré dans la série animale dont il est un aboutissant. Et ainsi, son organisation, ses fonctions, son développement s'éclairent de toute l'évolution antérieure et préparent l'étude des formes plus complexes des groupements organiques qui sont offerts par l'étude des sociétés.

On peut voir que, malgré la prédominance de la préoccupation pratique dans ce classement des Bibliothèques de l'*Encyclopédie scientifique*, le souci de situer rationnellement les sciences dans leurs rapports réciproques n'a pas été négligé. Enfin il est à peine besoin d'ajouter que cet ordre n'implique nullement une hiérarchie, ni dans l'importance ni dans les difficultés des diverses sciences. Certaines, qui sont placées dans la technologie, sont d'une complexité extrême, et leurs recherches peuvent figurer parmi les plus ardues.

Prix de la publication. – Les volumes, illustrés pour la plupart, seront publiés dans le format in-18 jésus et cartonnés. De dimensions commodes, ils auront 400 pages environ, ce qui représente une matière suffisante pour une monographie ayant un objet défini et important, établie du reste selon l'économie du projet qui saura éviter l'émiettement des sujets d'exposition. Le prix étant fixé uniformément à 5 francs, c'est un réel progrès dans les conditions de publication des ouvrages scientifiques, qui, dans certaines spécialités, coûtent encore si cher.

TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

DIRECTEUR : Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes Etudes
SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : H. PIERON, agrégé de l'Université

	DIRECTEUR DES BIBLIOTHÈQUES :
1. *Philosophie des Sciences.*	P. PAINLEVÉ, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

I. SCIENCES PURES

A. Sciences mathénatiques :

2. *Mathématiques*	J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Poitiers.
3. *Mécanique*	J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Poitiers.

B. Sciences inorganiques :

4. *Physique*	A. LEDUC, professeur adjoint de physique à la Sorbonne.
5. *Chimie physique*. . . .	J. PERRIN, chargé de cours à la Sorbonne.
6. *Chimie*	A. PICTET, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève.
7. *Astronomie et Physique céleste*	J. MASCART, astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.
8. *Météorologie*.	J. RICHARD, directeur du Musée Océanographique de Monaco.
9. *Minéralogie et Pétrographie*	A. LACROIX, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
10. *Géologie*.	M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

11. *Océanographie physique.*	J. Richard, directeur du Musée Océanographique de Monaco.

C. **Sciences biologiques normatives :**

12. *Biologie*	A. *Biologie générale.*	M. Caullery, professeur-adjoint à la Sorbonne.
	B. *Océanographie biologique*	J. Richard, directeur du Musée Océanographique de Monaco.
13. *Physique biologique* . .		A. Imbert, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Montpellier.
14. *Chimie biologique.* . .		G. Bertrand, chargé de cours à la Sorbonne.
15. *Physiologie et Pathologie végétales*		L. Mangin, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
16. *Physiologie*		J.-P. Langlois, professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.
17. *Psychologie.*		E. Toulouse, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
18. *Sociologie*		G. Richard, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Bordeaux.

---

19. *Microbiologie et Parasitologie*		A. Calmette, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille. taux de Paris.
20. *Pathologie.*	A. *Pathologie médicale* . . .	M. Klippel, médecin des Hôpitaux de Paris.
	B. *Neurologie* .	E. Toulouse, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
	C. *Path. chirurgicale* . . .	L. Picqué, chirurgien des Hôpitaux de Paris.

D. Sciences biologiques descriptives :

21. *Paléontologie*	M. Boule, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
22. *Botanique.* A. *Généralités et phanérogames.* .	H. Lecomte, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
22. *Botanique.* B. *Cryptogames* . .	L. Mangin, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.
23. *Zoologie*	G. Loisel, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-études.
24. *Anatomie et Embryologie.*	G. Loisel, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes.
25. *Anthropologie et Ethnographie*	G. Papillault, professeur à l'Ecole d'Anthropologie.
26. *Economie politique.* . .	D. Bellet, professeur à l'Ecole des sciences politiques.

II. Sciences appliquées

A. Sciences mathématiques :

27. *Mathématiques appliquées.*	M. d'Ocagne, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'Ecole polytechnique.
28. *Mécanique appliquée et génie.*	M. d'Ocagne, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'Ecole polytechnique.

C. Sciences inorganiques :

29. *Industries physiques* . .	H. Chaumat, sous-directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité de Paris.
30. *Photographie*	A. Seyewetz, sous-directeur de l'Ecole de Chimie industrielle de Lyon.
31. *Industries chimiques* . .	J. Derôme, agrégé des Sciences physiques, inspecteur des Etablissements classés.
32. *Géologie et minéralogie appliquées.*	L. Cayeux, professeur à l'Institut national agronomique, professeur de géologie à l'Ecole des Mines.

33. *Construction* . . . . . J. Pillet, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Ecole des Beaux-Arts.

B. Sciences biologiques :

34. *Industries biologiques* . . G. Bertrand, chargé de cours à la Sorbonne.

35. *Botanique appliquée et agriculture* . . . . H. Lecomte, professeur au Museum d'Histoire naturelle.

36. *Zoologie appliquée* . . . R. Baron, professeur à l'Ecole vétérinaire d'Alfort.

37. *Thérapeutique générale et pharmacologie* . . . G. Pouchet, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Paris.

38. *Hygiène et médecine publiques* . . . . . . A. Calmette, professeur à la Faculté de médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille.

39. *Psychologie appliquée*. . E. Toulouse, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes, médecin en chef de l'asile de Villejuif.

40. *Sociologie appliquée* . . Th. Ruyssen, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Dijon.

M. Albert Maire, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'*Index* de l'Encyclopédie scientifique.

DIJON, IMPRIMERIE DARANTIERE

sède un ensemble complet, bien divisé et fournissant sur chaque science tous les enseignements et tous les renseignements qu'on en réclame. Du Dictionnaire, l'*Encyclopédie* gardera les facilités de recherches par le moyen d'une table générale, l'*Index de l'Encyclopédie*, qui paraîtra dès la publication d'un certain nombre de volumes et sera réimprimé périodiquement. L'*Index* renverra le lecteur aux différents volumes et aux pages où se trouvent traités les divers points d'une question.

Les éditions successives de chaque volume permettront de suivre toujours de près les progrès de la science. Et c'est par là que s'affirme la supériorité de ce mode de publication sur tout autre. Alors que, sous sa masse compacte, un traité, un dictionnaire ne peut être réédité et renouvelé que dans sa totalité et qu'à d'assez longs intervalles, inconvénients graves qu'atténuent mal des suppléments et des appendices, l'*Encyclopédie scientifique*, au contraire, pourra toujours rajeunir les parties qui ne seraient plus au courant des derniers travaux importants. Il est évident, par exemple, que si des livres d'algèbre ou d'acoustique physique peuvent garder leur valeur pendant de nombreuses années, les ouvrages exposant les sciences en formation, comme la chimie physique, la psychologie ou les technologies industrielles, doivent nécessairement être remaniés à des intervalles plus courts.

Le lecteur appréciera la souplesse de publication de cette *Encyclopédie*, toujours vivante, qui s'élargira au fur et à mesure des besoins dans le large cadre tracé dès le début, mais qui constituera toujours, dans son ensemble, un traité complet de la science, dans chacune de ses sections un traité complet d'une science et dans chacun de ses livres une monographie complète. Il pourra ainsi n'acheter que telle ou telle section de l'*Encyclopédie*, sûr de n'avoir pas des parties dépareillées d'un tout.

L'*Encyclopédie* demandera plusieurs années pour être achevée ; car pour avoir des expositions bien faites, elle a pris ses collaborateurs plutôt parmi les savants que parmi les professionnels de la rédaction scientifique que l'on retrouve généralement dans les œuvres similaires. Or les savants écrivent peu et lentement : et il est préférable de laisser temporaire-

ment sans attribution certains ouvrages plutôt que de les confier à des auteurs insuffisants. Mais cette lenteur et ces vides ne présenteront pas d'inconvénients, puisque chaque livre est une œuvre indépendante et que tous les volumes publiés sont à tout moment réunis par l'*Index de l'Encyclopédie*. On peut donc encore considérer l'Encyclopédie comme une librairie, où les livres soigneusement choisis, au lieu de représenter le hasard d'une production individuelle, obéiraient à un plan arrêté d'avance, de manière qu'il n'y ait ni lacune dans les parties ingrates, ni double emploi dans les parties très cultivées.

Caractère scientifique des ouvrages. — Actuellement, les livres de science se divisent en deux classes bien distinctes : les livres destinés aux savants spécialisés, le plus souvent incompréhensibles pour tous les autres, faute de rappeler au début des chapitres les connaissances nécessaires, et surtout faute de définir les nombreux termes techniques incessamment forgés, ces derniers rendant un mémoire d'une science particulièrement inintelligible à un savant qui en a abandonné l'étude durant quelques années ; et ensuite les livres écrits pour le grand public qui sont sans profit pour des savants et même pour des personnes d'une certaine culture intellectuelle.

L'*Encyclopédie scientifique* a l'ambition de s'adresser au public le plus large. Le savant spécialisé est assuré de rencontrer dans les volumes de sa partie une mise au point très exacte de l'état actuel des questions ; car chaque bibliothèque, par ses techniques et ses monographies, est d'abord faite avec le plus grand soin pour servir d'instrument d'études et de recherches à ceux qui cultivent la science particulière qu'elle représente, et sa devise pourrait être : *Par les savants, pour les savants.* Quelques-uns de ces livres seront même, par leur caractère didactique, destinés à devenir des ouvrages classiques et à servir aux études de l'enseignement secondaire ou supérieur. Mais, d'autre part, le lecteur non spécialisé est certain de trouver, toutes les fois que cela sera nécessaire, au seuil de la section, — dans un ou plusieurs volumes de généralités, — et au seuil du volume, — dans un chapitre particulier, — des don-

nées qui formeront une véritable introduction le mettant à même de poursuivre avec profit sa lecture. Un vocabulaire technique, placé, quand il y aura lieu, à la fin du volume, lui permettra de connaître toujours le sens des mots spéciaux.

II

ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Par son organisation scientifique, l'*Encyclopédie* paraît devoir offrir aux lecteurs les meilleures garanties de compétence. Elle est divisée en sections ou bibliothèques, à la tête desquelles sont placés des savants professionnels spécialisés dans chaque ordre de sciences et en pleine force de production, qui, d'accord avec le Directeur général, établissent les divisions des matières, choisissent les collaborateurs et acceptent les manuscrits. Le même esprit se manifestera partout ; éclectisme et respect de toutes les opinions logiques, subordination des théories aux données de l'expérience, soumission à une discipline rationnelle stricte ainsi qu'aux règles d'une exposition méthodique et claire. De la sorte, le lecteur, qui aura été intéressé par les ouvrages d'une section dont il sera l'abonné régulier, sera amené à consulter avec confiance les livres des autres sections dont il aura besoin, puisqu'il sera assuré de trouver partout la même pensée et les mêmes garanties. Actuellement, en effet, il est, hors de sa spécialité, sans moyen pratique de juger de la compétence réelle des auteurs.

Pour mieux apprécier les tendances variées du travail scientifique adapté à des fins spéciales, l'*Encyclopédie* a sollicité, pour la direction de chaque Bibliothèque, le concours d'un savant placé dans le centre même des études du ressort. Elle a pu ainsi réunir des représentants des principaux corps savants, établissements d'enseignement et de recherches de langue française :

Institut.
Académie de Médecine.
Collège de France.
Museum d'Histoire naturelle.
Ecole des Hautes-Etudes.
Sorbonne et Ecole normale.

Facultés des Sciences.
Facultés des Lettres.
Facultés de Médecine.
Institut Pasteur.
Ecole des Ponts et Chaussées.
Ecole des Mines.
Ecole Polytechnique.
Conservatoire des Arts et Métiers.
Ecole d'Anthropologie.
Institut National agronomique.
Ecole vétérinaire d'Alfort.
Ecole supérieure d'Electricité.
Ecole de Chimie industrielle de Lyon.
Ecole des Beaux-Arts.
Ecole des Sciences politiques.
Observatoire de Paris.
Hôpitaux de Paris.

III

BUT DE L'ENCYCLOPÉDIE

Au XVIIIe siècle, « l'Encyclopédie » a marqué un magnifique mouvement de la pensée vers la critique rationnelle. A cette époque, une telle manifestation devait avoir un caractère philosophique. Aujourd'hui, l'heure est venue de renouveler ce grand effort de critique, mais dans une direction strictement scientifique ; c'est là le but de la nouvelle *Encyclopédie*.

Ainsi la science pourra lutter avec la littérature pour la direction des esprits cultivés, qui, au sortir des écoles, ne demandent guère de conseils qu'aux œuvres d'imagination et à des encyclopédies où la science a une place restreinte, tout à fait hors de proportion avec son importance. Le moment est favorable à cette tentative ; car les nouvelles générations sont plus instruites dans l'ordre scientifique que les précédentes. D'autre part la science est devenue, par sa complexité et par les corrélations de ses parties, une matière qu'il n'est plus possible d'exposer sans la collaboration de tous les spécialistes, unis là comme le sont les producteurs dans tous les départements de l'activité économique contemporaine.

A un autre point de vue, l'*Encyclopédie*, embrassant toutes les manifestations scientifiques, servira comme tout inventaire à mettre au jour les lacunes, les champs encore en friche ou abandonnés, — ce qui expliquera la lenteur avec laquelle certaines sections se développeront, — et suscitera peut-être les travaux nécessaires. Si ce résultat est atteint, elle sera fière d'y avoir contribué.

Elle apporte en outre une classification des sciences et, par ses divisions, une tentative de mesure, une limitation de chaque domaine. Dans son ensemble, elle cherchera à refléter exactement le prodigieux effort scientifique du commencement de ce siècle et un moment de sa pensée, en sorte que dans l'avenir elle reste le document principal où l'on puisse retrouver et consulter le témoignage de cette époque intellectuelle.

On peut voir aisément que l'*Encyclopédie* ainsi conçue, ainsi réalisée, aura sa place dans toutes les bibliothèques publiques, universitaires et scolaires, dans les laboratoires, entre les mains des savants, des industriels et de tous les hommes instruits qui veulent se tenir au courant des progrès, dans la partie qu'ils cultivent eux-mêmes ou dans tout le domaine scientifique. Elle fera jurisprudence, ce qui lui dicte le devoir d'impartialité qu'elle aura à remplir.

Il n'est plus possible de vivre dans la société moderne en ignorant les diverses formes de cette activité intellectuelle qui révolutionne les conditions de la vie ; et l'interdépendance de la science ne permet plus aux savants de rester cantonnés, spécialisés dans un étroit domaine. Il leur faut, — et cela leur est souvent difficile, — se mettre au courant des recherches voisines. A tous l'*Encyclopédie* offre un instrument unique dont la portée scientifique et sociale ne peut échapper à personne.

IV

CLASSIFICATION DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES

La division de l'*Encyclopédie* en bibliothèques a rendu nécessaire l'adoption d'une classification des sciences, où se manifeste nécessairement un certain arbitraire, étant donné que les sciences se distinguent beaucoup moins par les différences de leurs objets que par les divergences des aperçus et des habitudes de notre esprit. Il se produit en pratique des interpénétrations réciproques entre leurs domaines, en sorte que, si l'on donnait à chacun l'étendue à laquelle il peut se croire en droit de prétendre, il envahirait tous les territoires voisins ;

une limitation assez stricte est nécessitée par le fait même de la juxtaposition de plusieurs sciences.

Le plan choisi, sans viser à constituer une synthèse philosophique des sciences, qui ne pourrait être que subjective, a tendu pourtant à échapper, dans la mesure du possible, aux habitudes traditionnelles d'esprit, particulièrement à la routine didactique, et à s'inspirer de principes rationnels.

Il y a deux grandes divisions dans le plan général de l'*Encyclopédie:* d'un côté les sciences pures, et, de l'autre, toutes les technologies qui correspondent à ces sciences dans la sphère des applications. A part et au début, une Bibliothèque d'application générale est consacrée à la philosophie des sciences (histoire des idées directrices, logique et méthodologie).

Les sciences pures et appliquées présentent en outre une division générale en sciences du monde inorganique et en sciences biologiques. Dans ces deux grandes catégories, l'ordre est celui de particularité croissante, qui marche parallèlement à une rigueur décroissante. Dans les sciences biologiques pures enfin, un groupe de sciences s'est trouvé mis à part, en tant qu'elles s'occupent moins de dégager des lois générales et abstraites que de fournir des monographies d'êtres concrets, depuis la paléontologie jusqu'à l'anthropologie et l'ethnographie.

Etant donnés les principes rationnels qui ont dirigé cette classification, il n'y a pas lieu de s'étonner de voir apparaître des groupements relativement nouveaux, une biologie générale, — une physiologie et une pathologie végétales, distinctes aussi bien de la botanique que de l'agriculture, une chimie physique, etc.

En revanche, des groupements hétérogènes se disloquent pour que leurs parties puissent prendre place dans les disciplines auxquelles elles doivent revenir. La géographie, par exemple, retourne à la géologie, et il y a des géographies botanique, zoologique, anthropologique, économique, qui sont étudiées dans la botanique, la zoologie, l'anthropologie, les sciences économiques.

Les sciences médicales, immense juxtaposition de tendances très diverses, unies par une tradition utilitaire, se désa-


UNIV. OF MICH.
DEC 3 1925
UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06220 6019
GC
380
.C69
Collet, L
Les dépôts marins
187916
Rm 1058, N.S. Bldg
Mar 15 '4
May 28 '48

33. *Construction*	J. Pillet, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'Ecole des Beaux-Arts.
B. Sciences biologiques :	
34. *Industries biologiques* . .	G. Bertrand, chargé de cours à la Sorbonne.
35. *Botanique appliquée et agriculture*	H. Lecomte, professeur au Museum d'Histoire naturelle.
36. *Zoologie appliquée* . . .	R. Baron, professeur à l'Ecole vétérinaire d'Alfort.
37. *Thérapeutique générale et pharmacologie* . . .	G. Pouchet, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Paris.
38. *Hygiène et médecine publiques*	A. Calmette, professeur à la Faculté de médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille.
39. *Psychologie appliquée*. .	E. Toulouse, directeur de Laboratoire à l'Ecole des Hautes-Etudes, médecin en chef de l'asile de Villejuif.
40. *Sociologie appliquée* . .	Th. Ruyssen, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Dijon.

M. Albert Maire, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'*Index* de l'Encyclopédie scientifique.

DIJON, IMPRIMERIE DARANTIERE

